



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

MARIANA DUARTE PAULINO

**ESCORREGAMENTOS EM TALUDES:
Análise de Estabilidade de um talude na Av. Beira Rio em João Pessoa/PB**

**JOÃO PESSOA
2023**

MARIANA DUARTE PAULINO

**ESCORREGAMENTOS EM TALUDES:
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NA AV.
BEIRA RIO EM JOÃO PESSOA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a 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
2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P328e Paulino, Mariana Duarte.

Escorregamentos em Taludes: análise de estabilidade
de um talude na Av. Beira Rio em João Pessoa/PB /
Mariana Duarte Paulino. - João Pessoa, 2023.
59 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Deslizamentos. 2. Estabilidade de taludes. 3.
Movimentos de massa. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIANA DUARTE PAULINO

**ESCORREGAMENTOS EM TALUDES:
ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM TALUDE NA AV. BEIRA RIO EM JOÃO
PESSOA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso em 15/06/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

Clóvis Dias

Clóvis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

Andrea Brasiliano Silva

Andrea Brasiliano Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Pablo Brilhante de Sousa

Prof. Pablo Brilhante de Sousa

Matrícula Siape: 1483214

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil

*Dedico a todos aqueles que passaram pela
minha vida contribuindo na construção da
pessoa que sou. Em especial, aos meus pais
Graça e Paulo.*

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a Deus que esteve comigo desde o início sendo meu porto seguro e no silêncio do meu quarto se fez presente trabalhando cuidadosamente em cada etapa deste trabalho, junto a Ele, agradeço a família EJC que foi por muitas vezes uma fuga do ambiente acadêmico.

Aos meus pais que sempre se dedicaram para que eu tivesse a melhor educação e mesmo sem entender a dimensão me apoiaram em cada decisão durante toda minha trajetória acadêmica. A minha irmã que no jeitinho dela transparece o seu orgulho de me ter como irmã e diariamente relembra quem eu sou. A presença de vocês diariamente me guiou de maneira invisível pelo caminho correto. Muito obrigada por respeitarem meu jeitinho calada no meio das batalhas da minha cabeça e por se entusiasmarem comigo nos momentos de extroversão.

A minha Família Duarte que tornaram esse caminho mais leve nos almoços de Domingo e nos conselhos pessoais, e a minha Família Paulino que nas orações em família vinham me perguntar e externalizar a animação da minha formação.

A todos os meus amigos, que de forma indireta seguraram minha mão para passar por esses 5 anos de desafio, alguns na mesma luta, outros já formados. Ao meu grupo de infância Ginas (Andreza Lima, Caline Cavalcante, Iasmin Palma, Melissa Moraes, Luarrah Vasconcelos e Renalle Aragão), nos vimos crescer desde o jardim e comemoramos a conquista de cada uma como se fossem nossas.

Ao IFPB, o qual pude conhecer professores incríveis que instigaram minha vontade de seguir na área de Edificações. Atrelaram minha paixão por esporte e pesquisa na dosagem perfeita, pude ter a experiência completa com grupos de pesquisa e equipe de atletismo e voleibol criando um ambiente prazeroso. Agradeço ao meu amigo Matheus Lemos que estava comigo nessas aventuras e durante a graduação foi minha visão de fora.

A UFPB que superou minhas expectativas, nos dois sentidos. Encontrei professores extremamente inteligentes e com uma habilidade absurda de passar os aprendizados, mas também um ambiente competitivo e muitas vezes não saudável. Nesses 5 anos, levo na bagagem muito conhecimento técnico da Engenharia, mas sobretudo conhecimento pessoal, aprendi a conviver com a ansiedade de meus amigos em torno de provas, com reprovação, trabalhos densos e curtos períodos, mas que gerou um ambiente de muita resiliência, grupos de amigos

com o lema: estamos no mesmo barco, melhor remar juntos. Em especial agradeço ao Brunch (Anne Eliza, Leonardo Trindade e Luarrah Vasconcelos), começamos juntos e o curso nos levou cada um para sua vocação.

A Empresa Júnior de Arquitetura e Engenharia Civil da UFPB – PLANEJ na pessoa de Elyson Duarte que despretensiosamente me fisgou em uma palestra e me trouxe para o mundo do empreendedorismo. Tenho um carinho por todos que passaram por lá durante meus 3 anos nela, e por cada contribuição que o movimento de empresários juniores me deu. Aos meus amigos que carregou de lá, Alysson Teófilo, Matheus Simas e Yane Amâncio, apesar das diferenças entre nós, achamos algo em comum que nos uniu: a vontade de ser diferente, de fazer diferente. Vocês foram um combustível essencial nesses últimos períodos.

A Multi Engenharia na pessoa de Jéssica Vieira que me recebeu de braço abertos em pleno início de pandemia, me capacitou e me tornou a profissional que sou hoje. Obrigada por todos os ensinamentos que foram além das competências técnicas, obrigada pela equipe magnífica que foi construída e que em conjunto busca diariamente a ascensão da Empresa.

Ao meu orientador Fábio Lopes Soares, por aceitar de prontidão o desafio dessa pesquisa e por todos os ensinamentos que pude absorver nas disciplinas de Solos e Estabilidade de Taludes. Obrigada pela serenidade e positividade durante o decorrer deste trabalho, por todas as ligações de alinhamento e por acreditar juntamente comigo que era possível dar forma a este trabalho.

A minha banca examinadora, obrigada! Ao professor Clóvis Dias que tive o prazer de ser aluna em Estradas, ministrou com leveza um conteúdo denso, teórico e prático. E a professora Andrea Brasiliano Silva, que tive um contato primeiramente online durante a pandemia e juntamente com o professor Taurino acenderam meu carinho pela área de estruturas, me desafiou a ultrapassar meus limites e reacendeu meu prazer nos estudos online.

Ao Laboratório de Solos (LAPAV), em especial aos técnicos João e Sérgio, que me auxiliaram na realização dos ensaios.

À Defesa Civil de João Pessoa, pelo apoio e acompanhamento no levantamento de registros com Drone como também no fornecimento de dados para o trabalho.

Por fim, a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para meu crescimento pessoal e profissional, esse trabalho é fruto de todos vocês.

RESUMO

Devido à geomorfologia e as condições climáticas, o Brasil é um país que, de modo geral, têm grandes riscos de desastres e catástrofes relacionadas ao deslizamento de taludes. Esse fator agregado ao clima predominantemente tropical e com grandes índices pluviométricos no verão, é gerador de casos recorrentes de movimentações de massa. O país passa por uma constante mudança de crescimento do seu sistema urbano, essas relacionadas ao alto índice de crescimento populacional e a concentração dessa população nos grandes centros urbanos tornou evidente que a falta de planejamento e ocupação desenfreada gera diversos problemas ambientais, dentre eles os relacionados com o deslizamento de encostas. Na cidade de João Pessoa, na Paraíba, a ocorrência de movimentos de massa pode ser evidenciada a partir do deslizamento de determinados pontos no talude localizado na Avenida Ministro José Américo de Almeida, conhecida como Avenida Beira Rio. Nos últimos anos, principalmente após fortes chuvas, a Defesa Civil vem catalogando ocorrências de deslizamentos que chegam a atingir moradias e a rodovia, esses registros são expressos no trabalho no período de 2013 e 2022, correlacionando com os índices pluviométricos do período. Apesar das constantes movimentações de massa, o problema é solucionado de forma corretiva em determinados pontos, deixando ainda muitas áreas fragilizadas, o que não impede a recorrência do deslizamento no próximo evento chuvoso. A partir desta problemática, o presente trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade do talude localizado na Avenida Beira Rio. Foi coletado amostra da área estabelecida para a pesquisa para ensaios em laboratório a fim de obter parâmetros geotécnicos. A partir da análise granulométrica pode ver que o solo apresenta uma boa graduação e aspecto argiloso, ademais resultou em um baixo índice de plasticidade, correspondendo a um solo sem coesão. Com base no ensaio de cisalhamento e uso do Programa GeoSlope foi obtido que o talude se apresenta instável e com risco iminente de deslizamento.

Palavras-chave: Deslizamentos; Estabilidade de taludes; Movimentos de massa.

ABSTRACT

Due to its geomorphology and climatic conditions, Brazil is a country that generally faces high risks of slope failures and related disasters. This factor, combined with its predominantly tropical climate and high rainfall rates during the summer, leads to recurrent cases of mass movements. The country is experiencing constant changes in its urban growth patterns, largely driven by a high population growth rate and the concentration of this population in major urban centers. It has become evident that the lack of planning and uncontrolled urbanization result in various environmental issues, including slope failures. In the city of João Pessoa, in the state of Paraíba, occurrences of mass movements can be observed, particularly in the form of slope failures along Avenida Ministro José Américo de Almeida, known as Avenida Beira Rio. In recent years, especially after heavy rainfall events, the Civil Defense has been recording instances of slope failures that have affected residential areas and the highway. This study examines the period between 2013 and 2022, correlating these incidents with rainfall data. Despite ongoing mass movements, the problem is typically addressed in a reactive manner focusing on specific locations, which leaves many areas vulnerable to future slope failures during subsequent rain events. Given this problem, the present study aims to analyze the stability of the slope located along Avenida Beira Rio. Soil samples were collected from the designated research area for laboratory testing in order to obtain geotechnical parameters. The grain size analysis revealed that the soil has good gradation and clay-like characteristics, resulting in a low plasticity index, indicating a cohesionless soil.

Keywords: Landslides; Slope Stability; Mass Movements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios dos movimentos de massa	14
Figura 2 - Fratura no maciço rochoso em Capitólio registrado em 2012	15
Figura 3 - Tipos de deslizamentos de acordo com a geometria.....	18
Figura 4 - Elementos de caracterização de uma massa escorregada	19
Figura 5 - Composição de um talude.....	20
Figura 6 - Comparação da precipitação anual x ocorrências no período de 2015 a 2020	25
Figura 7 - Ocupações em volta do Talude em estudo.....	27
Figura 8 - Localização do município de João Pessoa.....	30
Figura 9 - Bairros pertencentes a área de estudo	31
Figura 10 - Mapa Geológico da região de João Pessoa.....	31
Figura 11 - Mapa geomorfológico da região de João Pessoa	32
Figura 12 - Mapa Hipsométrico da região de João Pessoa.....	33
Figura 13 - Mapa de declividade da região de João Pessoa	34
Figura 14 - Trecho do talude da Beira Rio	36
Figura 15 - Pontos críticos no talude da Av. Beira Rio.....	37
Figura 16 - Ponto 1. Próximo a CECAPRO	38
Figura 17 - Ponto 2. Zona do Talude estudado	38
Figura 18 - Ponto 3. Zona atrás de Edifícios residenciais	38
Figura 19 - Ponto 4. Recorte do Talude ao lado da TV Master.....	39
Figura 20 - Ponto 5. Talude sob o Edifício Boulevard Miramar	39
Figura 21 - Extensão do Talude pela área de estudo	40
Figura 22 - Trechos do Talude analisado para parâmetros geotécnicos.....	40
Figura 23 - Mesmo trecho do talude analisado há um ano atrás	41
Figura 24 - Ponto do talude que foi retirado a amostra deformada	42
Figura 25 - Ponto da amostra indeformável	42
Figura 26 - Peneiras utilizadas para granulometria	43
Figura 27 - Ensaio de Sedimentação	45
Figura 28 - Aparelho Casagrande utilizado no ensaio para determinação do Limite Liquidez.....	46
Figura 29 - Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade	47
Figura 30 - Gráfico Limite de Liquidez x Índice de Plasticidade	47
Figura 31 - Equipamento para Ensaio de Cisalhamento Direto	48
Figura 32 - Modelagem do corpo de prova	48
Figura 33 - Corpos de prova cisalhados	49
Figura 34 - Fator de Segurança em estado natural pelo Método de Bishop.....	52
Figura 35 - Fator de Segurança em estado saturado pelo Método de Jambu	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processo Geológico de Escorregamento	17
Tabela 2 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	17
Tabela 3 - Tipos de efeitos, ocorrência e principais causas relacionados aos taludes.....	21
Tabela 4 - Agente/Causas de escorregamentos	22
Tabela 5 - Atividades antrópicas e relação com os movimentos de massa	26
Tabela 6 - Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas	29
Tabela 7 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	29
Tabela 8 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.....	29
Tabela 9 - Ocorrências relacionadas a deslizamento de massa na área de estudo durante o período de 2013 a 2022.	35
Tabela 10 - Resumo da Granulometria.....	44
Tabela 11 - Resultados da sedimentação	45
Tabela 12 - Resultados dos limites de consistência.....	47
Tabela 13 - Resultado das Amostra do Ensaio de Cisalhamento Direto	50
Tabela 14 - Características dos métodos de equilíbrio limite.....	51
Tabela 15 - Comparação entre os FS no estado natural e saturado para cada método.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice Pluviométrico na região de JP-PB no período de 7 dias antes do deslizamento	37
Gráfico 2 - Curva Granulométrica.....	44
Gráfico 3 - Tensão cisalhante x Tensão normal (Solo Natural)	49
Gráfico 4 - Tensão cisalhante x Tensão normal (Solo Saturado).....	50

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
2.	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1	MOVIMENTOS DE MASSAS	13
3.1.1	Definição	13
3.1.2	Classificação	14
3.2	TALUDES	19
3.3	RISCO GEOLÓGICO.....	22
3.4	FATORES DE RISCO.....	23
3.4.1	Influência das chuvas nos movimentos de massa	24
3.4.2	Influência Antrópica.....	25
3.4.3	Diminuição do risco de deslizamento	27
3.5	ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE.....	28
3.5.1	Fator de Segurança (FS).....	28
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	LOCAL DE ESTUDO	30
4.1.1	Características do meio físico	31
4.1.2	Clima	34
4.2	EVOLUÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.3	SITUAÇÃO	39
4.4	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	42
4.4.1	Coleta em Campo.....	42
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1	ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	43
5.1.1	Análise Granulométrica	43
5.1.2	Ensaio de Sedimentação.....	44
5.1.3	Limites de Consistência	46
5.1.4	Ensaio de Cisalhamento direto.....	48
5.2	GEOSTUDIO.....	50
6.	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A	58

1. INTRODUÇÃO

Movimentos de massa, também chamados de deslizamentos, escorregamentos, rompimento de taludes, queda de barreira, entre outros é um processo natural, caracterizados por movimentos sob efeito da gravidade responsáveis pela mobilização do solo, vegetação ou sedimentos pela encosta geralmente intensificados pela ação da água.

Devido à geomorfologia e as condições climáticas, o Brasil é um país que, de modo geral, tem grandes riscos de desastres e catástrofes relacionadas ao deslizamento de taludes. Esse fator agregado ao clima predominantemente tropical e com grandes índices pluviométricos no verão, é gerador de casos recorrentes de movimentações de massa. O país passa por uma constante mudança de crescimento do seu sistema urbano, relacionada ao alto índice de crescimento populacional e a concentração dessa população nos grandes centros urbanos tornou evidente que a falta de planejamento e ocupação desenfreada gera diversos problemas ambientais, dentre eles os relacionados com o deslizamento de encostas.

No caso em estudo, o talude foi criado a partir do corte no relevo para construção de uma das principais vias da cidade que liga a região litorânea a região central, este fator potencializou o desenvolvimento de residências e comércios a margem da rodovia sem um cuidadoso planejamento. É justamente nesta forma de ocupação desordenada, sem planejamento (plano diretor), que a influência antrópica contribui para a aceleração dos processos de escorregamentos, por modificarem o meio de forma significativa e repentina.

A partir disso, surge a necessidade do estudo da estabilização de taludes, em que se caracteriza como elemento fundamental em uma variedade de obras de engenharia, como viadutos, ferrovias, edificações residenciais e barragens e tem como principal finalidade suportar o empuxo da terra e garantir segurança ao talude.

Por muitos anos métodos convencionais, como uso de concreto armado e apenas a aplicação de uma camada vegetal, foram as únicas opções conhecidas e disponíveis para estabilizar os maciços de solo, porém o desenvolvimento de novas técnicas foram substituindo esses métodos tradicionais. Entretanto para implementação de determinado método é necessário o estudo de cada situação a partir da caracterização do local de aplicação, ensaios *in loco* e em laboratório. Ademais, outro fator a ser considerado na construção de contenções são as interferências que a mesma pode exercer sob o local a ser reforçado, de modo viabilizar determinado sistema no local.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na cidade de João Pessoa, Paraíba, a ocorrência de movimentos de massa pode ser evidenciada a partir do deslizamento de determinados pontos no talude localizado na Avenida Ministro José Américo de Almeida, conhecida como Avenida Beira Rio, que corta os bairros de Expedicionário, Miramar e Tambauzinho. Nos últimos anos, principalmente após fortes chuvas, a Defesa Civil vem catalogando ocorrências de deslizamentos que chegam a atingir moradias e a rodovia. Apesar das constantes movimentações de massa, o problema é solucionado de forma corretiva e em determinados pontos, deixando ainda muitas áreas fragilizadas, o que não impede a ocorrência do deslizamento no próximo evento chuvoso.

Diante desta situação, no presente trabalho é feito um estudo acerca da estabilidade de um determinado ponto do talude da Avenida Beira Rio e pretende apresentar a situação atual do talude após diversas movimentações de massa.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Realizar uma análise acerca da estabilidade do talude localizado na Avenida Beira Rio no município de João Pessoa-PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os movimentos de massa enquanto fenômeno, classificação, impactos, causas e agentes;
- Verificar a ocorrência de movimentos de massa no talude catalogados junto a Defesa Civil;
- Realizar o levantamento dos pontos críticos do talude estudado a partir de imagens aéreas obtidas com o auxílio de drone;
- Realizar ensaios de campo e em laboratório afim de se determinar os parâmetros geotécnicos do solo presente na área estudada;
- Analisar a estabilidade de um dos pontos críticos do talude que se situa na Avenida Beira Rio por meio do Programa GeoStudio.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MOVIMENTOS DE MASSAS

3.1.1 Definição

De acordo com ZÁRUBA & MENCL (1982), os movimentos de massa são acontecimentos que culminam em processos superficiais no qual um volume de solo e/ou rocha se deslocam simultaneamente, caracterizando-se como um dos maiores processos de alteração e de desenvolvimento de encostas. São eventos que acontecem no desenvolvimento das cidades, mas que, ao mesmo tempo, podem causar perdas humanas, estruturais e econômicas significativas.

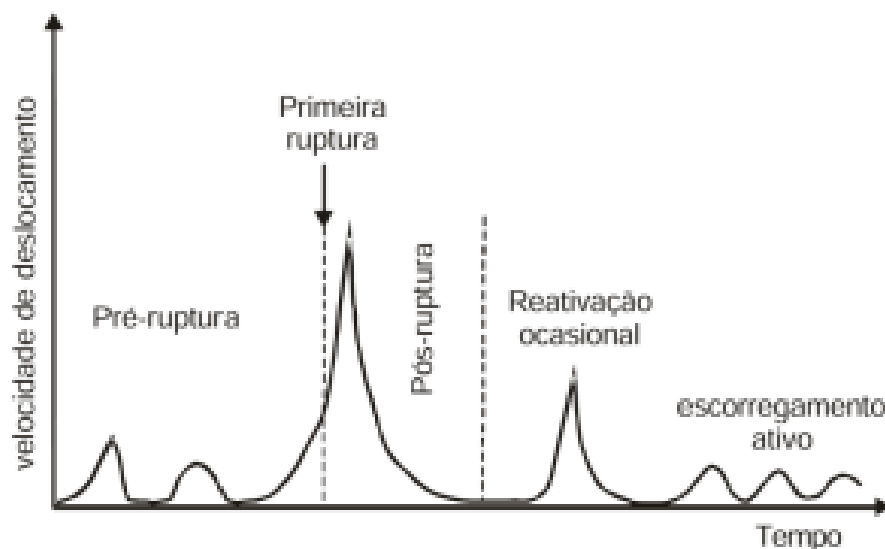
Os movimentos de massa são fenômenos naturais que podem ser influenciados pela ação antrópica. O corte e a ocupação desordenada de encostas, as quais são desmatadas para a construção de casas, ruas, dentre outras obras de engenharia, são os principais responsáveis pela ocorrência da movimentação de massa. (STEIN et al, 2021)

A execução de cortes nos maciços, assim como a sua má execução também pode condicionar movimentos de massa ou, mais especificamente, escorregamentos de taludes, desde que as tensões cisalhantes ultrapassem a resistência ao cisalhamento dos materiais, ao longo de determinadas superfícies de ruptura.

De acordo com Leroueil et al (1996), os movimentos de massa ao longo do tempo passam por determinadas estágios, como ilustrado na Figura 1, dividindo-se em:

- Estágio pré-ruptura: Inclui todo e qualquer processo de deformação que pode levar a ruptura. Estágio controlado por mudanças na resistência, rastejo ou ruptura progressiva.
- Estágio de ruptura: É a fase mais significativa na história do movimento de massa e se caracteriza pela formação de uma superfície de cisalhamento na massa de solo.
- Estágio pós-ruptura: Inclui desde a ruptura até o término da movimentação. Há um aumento da razão de deslocamento, seguido da diminuição progressiva de velocidade.
- Estágio de reativação: Acontece quando uma massa de solo desliza ao longo de uma superfície de ruptura pré-existente.

Figura 1 - Estágios dos movimentos de massa



Fonte: Leroueil *et al* (1996)

Assim, a partir de Florenzano (2008), há diversos tipos de movimentos de massa e estes dependem de alguns fatores, descritos a seguir.

- Cinemática do movimento: relação entre a massa em movimentação e o terreno estável (velocidade, direção e sequência dos deslocamentos), intensidade de distribuição das precipitações.
- Tipologia do material: estrutura geológica, heterogeneidade do solo, rocha, detritos, depósitos, cobertura vegetal e a ocupação do solo.
- Geometria: declividade, orientação, forma da vertente, tamanho e área de contribuição.

3.1.2 Classificação

De acordo com Guidicini e Nieble (1984) há diversas classificações para os movimentos de massa a depender dos parâmetros utilizados, como também a maioria das classificações tem aplicabilidade regional tendo influência das condições do ambiente em que cada autor as elaborou. Com isso, em língua portuguesa, para ocorrência de movimentos voltados a ambientes tropical e subtropical úmidos temos os estudos de divisão feito por Freire, Vargas e Costa Nunes.

Deste modo, considerando os mecanismos específicos e os diferentes materiais envolvidos, os movimentos de massa podem ser classificados em quatro tipos principais:

- Quedas/Tombamentos/Rolamentos;

De acordo com Gerscovich (2016), os desabamentos ou quedas são subsidências bruscas, em alta velocidade. As quedas que podem colapsar por descalçamento ou tombamento envolvem blocos rochosos que se deslocam livremente em queda livre, ou ao longo de um plano inclinado. A formação dos blocos origina-se na ação do intemperismo nas fraturas, pressões hidrostáticas nas fraturas, perda de desconfinamento lateral, decorrentes de obras subterrâneas e vibrações.

Segundo Florenzano (2008), nas áreas em que esse tipo de movimento ocorre, normalmente existe a presença de fraturas nos paredões rochosos ou há um desgaste na base da encosta, além de descontinuidades e/ou alívios de tensão o que provocam a queda do bloco.

Um exemplo recente (Figura 2) desse tipo de movimento pôde ser visto em Capitólio, Minas Gerais em janeiro de 2022, as margens do Rio São Francisco, a presença de fratura na rocha que separa o bloco fragilizado ao maciço original e a exposição as intempéries durante anos resultaram no processo natural de tombamento.

Figura 2 - Fratura no maciço rochoso em Capitólio registrado em 2012



Fonte: Jornal da UNESP, 2022

- Escoamentos (Fluxo de Detritos e lama);

Segundo Florenzano (2008) e Gerscovich (2016), são movimentos contínuos e não apresentam necessariamente uma superfície definida, não associados a uma velocidade específica. A partir de sua velocidade, quando o movimento é lento, dá-se o nome de rastejo, quando o movimento é rápido, denomina-se corrida de massa.

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), o rastejo se diferencia dos escorregamentos por um fator bem característico, além da continuidade e da lentidão da movimentação. Trata-se de uma diferença no mecanismo de deformação, por enquanto que nos escorregamentos essa deformação se comporta como um sólido o tenha atingido, no rastejo se assemelha ao de um líquido muito viscoso.

Em contrapartida Guidicini e Nieble (1984) e Gerscovich (2016), contribuem que as corridas são formas mais rápidas de escoamento (velocidades $>10\text{km/h}$), de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água. A massa de solo passa a se comportar como um fluido e os deslocamentos atingem extensões significativas.

- Subsidência e Colapsos

Deslocamento finito, ou deformação contínua, de direção essencialmente vertical; encontram-se classificadas em três tipos: subsidências propriamente ditas (em que o movimento consiste essencialmente em uma deformação contínua), recalques (em que, por expulsão de um fluido, verifica-se uma deformação global do solo, produzida pelos deslocamentos ou rearranjos das partículas individuais) e, finalmente, os desabamentos (que consistem em um deslocamento finito vertical, geralmente rápido). (Guidicini e Nieble, 1984)

Ademais, Florenzano (2008) afirma que esse fenômeno pode ter origem natural, através de falhamentos e epirogenia, ou antrópica por meio da retirada de material subterrâneo, como: água, petróleo, gás e minério.

Além de que o colapso por afundamento das camadas origina-se na remoção de uma fase sólida, líquida ou gasosa, cujas causas mais comuns são: ação erosiva e bombeamento das águas subterrâneas, atividades de mineração e exploração de petróleo e efeito da vibração em sedimentos não consolidados como menciona Gerscovich (2016).

Um exemplo recente desse movimento pôde ser visto em Maceió, Alagoas em 2018, em que uniu o trabalho de mineração (extração de sal-gema) abaixo de diversos bairros e a presença de fortes chuvas na região em que existiam falhas geológicas provocando a instabilidade no solo e posteriormente a presença de fraturas e afundamento do solo.

Cerri e Amaral (1998) apresentam uma síntese dos processos geológicos causadores de risco mais frequentes no Brasil, destacando-se na Tabela 1 os escorregamentos, assim como classificam os movimentos que foram descritos anteriormente na Tabela 2.

Tabela 1 - Processo Geológico de Escorregamento

Processo	Principais condições predisponentes	Exemplos de intervenção antrópica desencadeadora	Algumas feições de campo indicativas	Exemplo de danos possíveis
Escorregamentos	- Encostas com inclinações; - Depósito de tálus e coluviões; - Concentração do escoamento d'água de superfície e de subsuperfície.	- Eliminação de cobertura vegetal; - Cortes instabilizadores; - Lançamento de lixo, aterro construídos sem controle; - Lançamento de água não controlado.	- Trincas no terreno; - Degraus de abatimento; - Postes, árvores e muros inclinados ou tombados.	- Queda, ruptura e soterramentos bruscos de construções, moradias, estradas, etc; - Soterramento e morte de pessoas

Fonte: Cerri e Amaral (1998)

Tabela 2 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL	
		Rocha	Solos de Engenharia
			Predomínio de grossos Predomínio de finos
Queda		Queda de blocos	Queda de detritos Queda de solo
Tombamento		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos Tombamento de solo
Deslizamento	Rotacional	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos Deslizamento de solo
	Translacional		
Espalhamento lateral		Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos Expansões laterais de solo
Fluxo		Movimento lento/ Corrida de rocha	Movimento lento/ Corrida de detritos Movimento lento/ Corrida de solo

Fonte: Coutinho e Silva, 2005

3.1.2.1 Deslizamentos

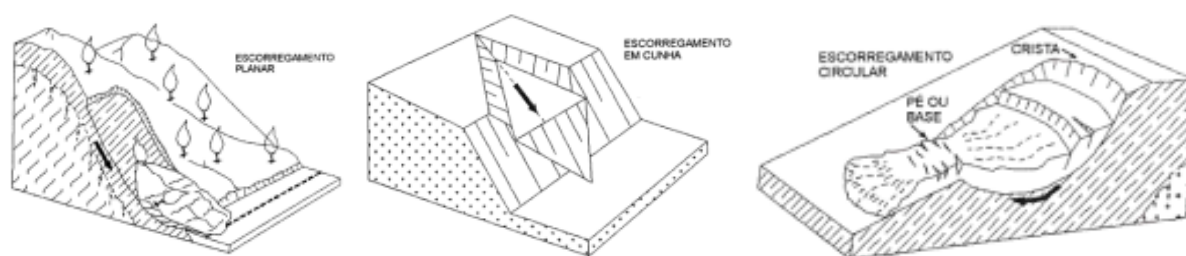
Dentre os diferentes tipos de movimentos de massa apresentados, encontram-se os deslizamentos, principal foco deste trabalho.

Segundo Florenzano (2008), os escorregamentos são processos que ocorrem de forma rápida, de duração relativamente curta, com um plano de ruptura definido, o qual separa o material escorregado do não movimentado. Ademais, Gerscovich (2016) menciona que a deflagração do movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo

atingem a resistência ao cisalhamento do material. Tanto em solos como em rochas, a ruptura se dá pela superfície que apresenta a menor resistência.

Na literatura encontram-se diversas classificações para este tipo de movimento. Seja natural ou artificial, decorrente da geometria, Figura 3, são classificadas da seguinte forma:

Figura 3 - Tipos de deslizamentos de acordo com a geometria



Fonte: Infantil Jr. E Fornasari Filho (1998)

- Translacionais ou Planares

Cerri e Amaral (1998) afirma que este é um dos processos mais frequentes nas encostas serranas brasileiras, o qual ocorre predominantemente em solos pouco desenvolvidos em vertentes com altas declividades, e em altas velocidades.

Ademais, Florenzano (2008) fala que esses movimentos ocorrem durante chuvas intensas, quando é elevada a poro-pressão em uma superfície de descontinuidade. Quando positiva altera a estabilidade da encosta, reduzindo a tensão cisalhante do solo e a tensão normal.

- Rotacional

O escorregamento rotacional de solo é um fenômeno verificado nas encostas brasileira, mobilizando geralmente o manto de alteração. São movimentos catastróficos, causados pelo deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha, ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha. (Guidicini e Nieble, 1984)

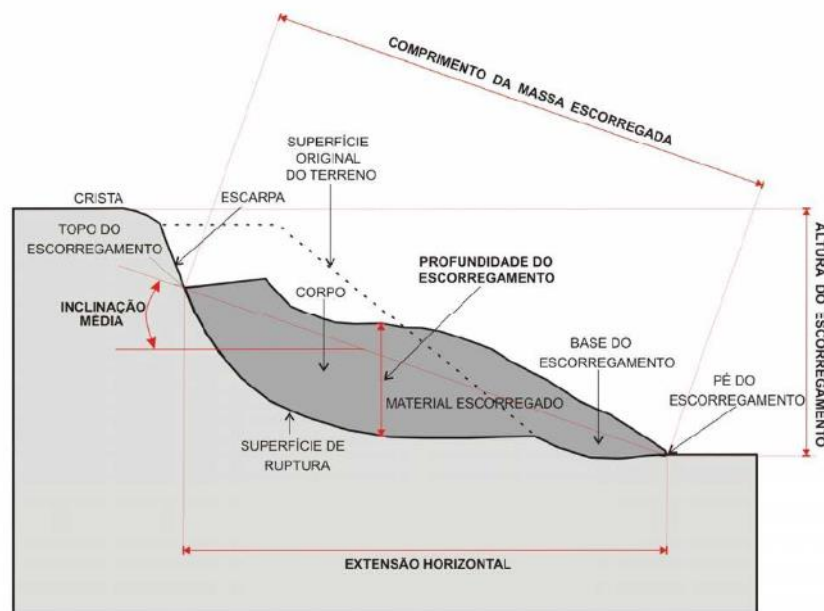
Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas. Escorregamentos rotacionais (circular ou não-circular) de solo, por sua vez, são típicos de áreas de solos homogêneos espessos, como os aterros. (Oliveira, 2009)

- Em cunha

De acordo com Carvalho et al. (2007) além do translacional e o rotacional, há o escorregamento do tipo em cunha, relacionado a saprolitos e a maciços rochosos, cuja presença de dois planos de fraqueza provoca a locomoção ao longo do eixo de intersecção desses planos. São processos mais habituais em taludes antrópicos (corte/aterro) ou mesmo em encostas que passaram por determinado processo natural de desconfinamento (ex. erosões ou escorregamentos passados).

Dado a caracterização de uma massa escorregada, é possível ver na NBR 11682/2009 seus elementos conforme ilustra a Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Elementos de caracterização de uma massa escorregada



Fonte: NBR 11682 (ABNT, 2009)

Tendo em vista, a classificação dos escorregamentos, pode-se relacionar com a situação do local em estudo, o talude da Beira Rio apresenta diversos escorregamentos do tipo translacional de acordo com suas características e com a descrição do movimento de massa.

3.2 TALUDES

Segundo Pimenta (2005), os taludes são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos, podendo apresentar modificações antrópicas, tais como cortes, desmatamentos, introdução de cargas etc.

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

O talude tem como principal função garantir a estabilidade do maciço o qual ele limita, ele é formado por crista ou topo, pé ou base, corpo do talude, ângulo de inclinação, altura e o terreno da fundação como mostra a Figura 5 abaixo.

Figura 5 - Composição de um talude



Fonte: Bittencourt (2020)

Em relação aos tipos de taludes, estes podem ser naturais, também chamados de encostas, ou artificiais, isto é, construídos pelo homem, como cortes e aterros em encostas, escavações ou barramento de água/rejeitos. De acordo com Marangon (2009) são vários os fatores que atuam de forma isolada ou em conjunto durante o processo de formação de um talude natural. Esses fatores podem ser agrupados em duas categorias:

- Fatores geológicos — litologia, estruturação, geomorfologia;
- Fatores ambientais — clima, topografia, vegetação.

De acordo com Gerscovich (2016), os taludes naturais estão sempre sujeitos a problemas de instabilidade, devido às ações das forças gravitacionais, as quais contribuem para a movimentação e a erosão do solo (Tabela 3). Em contrapartida, os taludes artificiais, aqueles construídos pelo homem, sofrem processos de instabilidade quando sua execução não prevê uma altura e inclinação segura de corte ou aterro. Em ambos, o projeto depende das propriedades geomecânicas dos materiais e das condições de fluxo.

Tabela 3 - Tipos de efeitos, ocorrência e principais causas relacionados aos taludes

Tipo de Efeito	Forma de ocorrência	Principais causas
Erosão	- Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada) - Longitudinal ao longo da plataforma - Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas) - Interna em aterros (<i>piping</i>)	- Deficiência de drenagem - Deficiência de proteção superficial - Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático - Deficiência ou inexistência de drenagem interna
Desagregação superficial	- Empastilhamento superficial em taludes de corte - Superficial - Profundo - Formas e dimensões variadas	- Secagem ou umedecimento do material - Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material - Inclinação acentuado do talude - Relevo energético - Descontinuidades do solo e rocha
Escorregamento em corte	- Superficial em corte ou encostas naturais - Profundo em corte - Formas de dimensões variadas - Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de tálus - Atingindo a borda do aterro - Atingindo o corpo do aterro	- Saturação do solo - Evolução por erosão - Corte de corpo de tálus - Alteração por drenagem - Compactação inadequada da borda
Escorregamento em aterro	- Atingindo o corpo do aterro	- Deficiência de fundação - Deficiência de drenagem - Deficiência de proteção superficial - Má qualidade do material - Compactação inadequada - Inclinação inadequada do talude
Recalque em aterro	- Deformação vertical da plataforma	- Deficiência de fundação - Deficiência de drenagem - Rompimento do bueiro - Compactação inadequada
Queda de blocos	- Geralmente em queda livre	- Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso
Rolamento de blocos	- Movimento de bloco por rolamento em cortes ou encostas naturais	- Descalçamento da base por erosão

Fonte: MARAGON (2009)

3.3 RISCO GEOLÓGICO

Já com relação ao risco geológico, segundo Carvalho (2001), é o que envolve eventos ou processos geológicos, naturais ou induzidos por ação antrópica. Sabe-se que os processos geológicos fazem parte da dinâmica do planeta (independentemente da presença antrópica), porém se intensificam e são mais frequentes pelas alterações decorrentes do uso e ocupação do solo.

Ademais, Oliveira (2009) acrescenta que em uma escala de tempo geológica (milhares de anos), é certeza que movimentos de massa vão acontecer em todas as encostas. No entanto, a remoção da vegetação original e a ocupação urbana, por exemplo, tendem a tornar mais frágil o equilíbrio natural, ocorrendo de forma mais frequente os escorregamentos.

O clima assume grande importância na formação dos solos, uma vez que o solo, produto do intemperismo do material de origem, apresenta propriedades e características diferenciadas em função do clima. Solos formados em clima tropical são solos bastante intemperizados. Quanto mais quente e úmido o clima, maior a lixiviação de minerais. (Silva, 2016)

De acordo com o estudo de Fiori (1995) as tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo, esse processo maximiza os potenciais planos de ruptura e são pontos de fragilidade para o maciço como um todo. A Tabela 4 abaixo mostra essa relação entre os agentes dos movimentos e as devidas consequências.

Tabela 4 - Agente/Causas de escorregamentos

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
AGENTES	Predisponentes	Complexo geológicos, complexo morfológicos, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos, marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem
CAUSAS	Internas	Efeito das oscilações térmicas, redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	
	Externas	Mudança na geometria do sistema, efeitos de vibração, mudanças naturais na inclinação das camadas	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”, elevação da coluna da água em descontinuidades, rebaixamento rápido do lençol freáticos, erosão subterrânea	

		retrogressiva (“piping”), diminuição do efeito de coesão aparente
--	--	---

Fonte: Guidicini e Nieble (1983)

3.4 FATORES DE RISCO

Conforme Gerscovich (2016), a instabilidade de encostas é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Com o avanço dos processos físico-químicos de alteração das rochas, o material resultante torna-se menos resistente e, dependendo da influência da topografia, geram-se condições para ruptura.

O Brasil, devido às condições climáticas, com intensas chuvas de verão, e geomorfológicas, com grandes maciços montanhosos, está muito suscetível à ocorrência dos movimentos de massa. Além da frequência elevada desses eventos em razão das condições naturais, ocorre também um número considerável de acidentes associados à ação antrópica nas vertentes. (FLORENZANO, 2008)

Segundo Britto e Fiori (2021), os taludes rochosos apresentam estruturas intrínsecas a sua formação que condicionam o desenvolvimento de planos de fraqueza e que são suscetíveis a escorregamentos quando o limite da resistência ao cisalhamento é alcançado. Para avaliar a suscetibilidade a deslizamentos é necessário mapear a estrutura e comportamento de todo o talude.

Segundo Schenkel (2014), risco é a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas (econômicas, sociais ou ambientais) resultantes da interação entre perigos naturais e os sistemas humanos, a partir disso pode ser analisado por dois fatores: suscetibilidade e vulnerabilidade.

- Fatores de suscetibilidade: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e/ou induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência
- Fatores de Vulnerabilidade: Grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área afetada por um processo

De acordo com Oliveira (2020), quanto maior a densidade populacional em áreas de risco, maior a vulnerabilidade da população que reside nesses locais, a falta de equipamentos públicos e de redes de infraestrutura está diretamente relacionada a assistência fornecida a população em risco.

Existe relação direta entre os eventos naturais extremos e as atividades humanas, alterando a sensibilidade ao perigo. A citar, os movimentos de massa não seriam perigosos se as encostas não fossem ocupadas. Ainda, a probabilidade de perigo poderia ser intensificada por um corte inapropriado ou uma chuva extrema (OLIVEIRA, 2009)

3.4.1 Influência das chuvas nos movimentos de massa

No meio tropical brasileiro, é de conhecimento generalizado a vinculação dos escorregamentos à estação de chuvas e, dentro dela, à ocorrência de chuvas intensas. Tais chuvas acarretam, com certa frequência, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico. (Guidicini e Nieble, 1983)

De acordo com Fiori (2015), há uma relação direta entre chuvas intensas e escorregamentos, por diversas causas, como o aumento do grau de saturação do solo, que leva à perda da “coesão aparente”, aumento do peso do solo pelo acréscimo do grau de saturação, aumento da força de percolação por causa do fluxo subterrâneo da água, entre outros efeitos.

Acrescenta Benessiuti (2011) que a água pode atuar na geração de pressões neutras de percolação, que conseqüentemente diminui a pressão efetiva, desenvolvimento de pressões hidrostáticas pelo acúmulo de água em fendas ou trincas, na erosão superficial e interna, e na redução da sucção em solos não saturados.

No entanto, Mendes (2008) cita que para deflagrar este movimento, deve-se existir uma combinação entre as intensidades pluviométricas acumulada e do evento. As primeiras chuvas (acumulada) geram um aumento no teor de umidade dos horizontes superficiais, e as chuvas seguintes (evento) promovem uma maior elevação deste teor, proporcionando o avanço da frente de saturação para os horizontes mais profundos.

Além disso, a umidade pré-existente do solo regula a infiltração de água no mesmo. Quanto mais saturado estiver o solo, ou seja, quanto mais precipitações ocorrerem antes do evento, mais facilmente se formará a frente de saturação e mais rapidamente ela avançará maciço adentro. (Benessiuti, 2011)

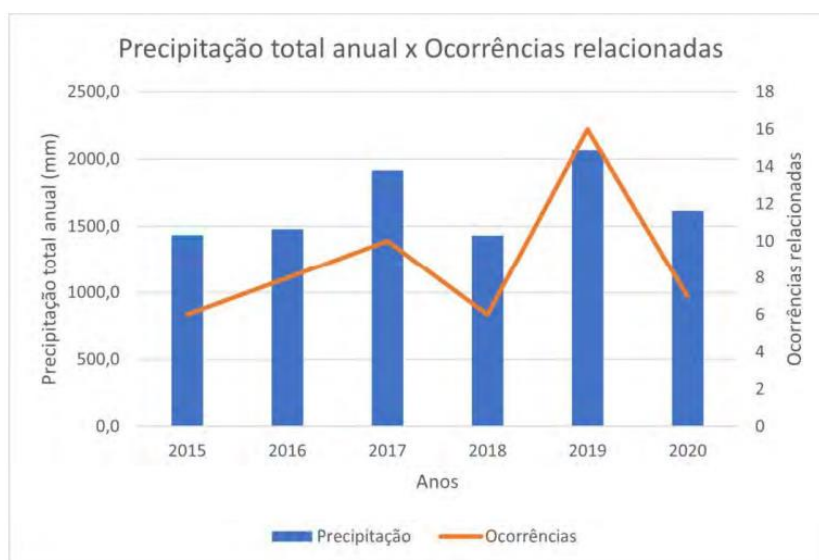
De acordo com Oliveira (2009), a influência do clima está relacionada basicamente com o regime pluviométrico e suas conseqüências sobre os processos morfogenéticos. Tanto as precipitações anômalas quanto as contínuas podem contribuir para deflagrar os escorregamentos. As chuvas são reconhecidamente um dos principais agentes na deflagração de movimentos de massa.

Se tratando da erosão hídrica, Pruski (2006) relata que os totais anuais têm pouca relevância neste processo, importando o conjunto das características da chuva, como intensidade, duração e frequência.

Por todas essas causas, a água da chuva é considerada como elemento desencadeador dos fenômenos de instabilidade, visto que o processo gera uma diminuição considerável na resistência mecânica do solo.

Segundo Martins (2021) no período entre os anos de 2015 a 2020, foi possível estabelecer uma correlação entre os movimentos de massa ocorridos em João Pessoa com as precipitações na cidade de João Pessoa, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Comparação da precipitação anual x ocorrências no período de 2015 a 2020



Fonte: Martins (2021)

3.4.2 Influência Antrópica

Segundo Florenzano (2008), em relação as atividades antrópicas em área urbanas, o mais preocupante é a ocupação irregular das encostas, com o consequente desmatamento e o corte de taludes, propiciando uma maior suscetibilidade à ocorrência dos movimentos de massa.

De acordo com Olivera (2009), as intervenções antrópicas nas cidades (Tabela 5) podem ser observadas no desmatamento, exposição do solo, terraplenagem e escavações do terreno para a ocupação, nos aterros de terrenos rebaixados e alagadiços para a urbanização, drenagem retificadas e/ou represadas para o abastecimento e/ou construção de usinas hidrelétricas, retaludamento de encostas para construção de vias, ocupação de áreas de declividade acentuada, dentre outras.

Tabela 5 - Atividades antrópicas e relação com os movimentos de massa

Ações Antrópicas	Implicações
Desmatamento	Aumento da velocidade de escoamento e eliminação da proteção do impacto de chuva nos terrenos
Árvores de grande porte no topo das encostas	Redução da resistência devido a ação das raízes e do vento
Construções em encostas sujeitas a processos evolutivos naturais	Modificações do fluxo de água superficial, escorregamentos, aceleração da erosão, <i>piping</i>
Execução de cortes e escavações	Exposição de camadas de solo/rocha antes confinados e mudança na geometria do talude
Execuções de aterros sem compactação adequada	Sobrecarga e criação de material de baixa resistência
Abertura não planejada de estradas	Desconfinamento de descontinuidades e eliminação de suportes naturais dos maciços rochosos e de solo e diminuição da resistência
Lançamento de detritos e lixo nas encostas	Formação de depósitos tecnogênicos
Obstrução de cursos de água naturais ou linhas de drenagem	Aumento das poropressões
Lançamento de esgoto e água servida nas encostas	Aumento de poropressões e fluxo subsuperficial
Execução de drenagem não planejada e instalação de sistemas de saneamento sem planejamento ou devidos cuidados	Vazamentos, saturação do solo, formação de redes de fluxo e aumento de poropressões e <i>piping</i>
Fragmentação de maciços para a extração mineral e exploração de material para construção civil	Criação de zonas de fraqueza e estímulo da aceleração do intemperismo físico/químico e diminuição da resistência mecânica

Fonte: Oliveira (2009) apud Parizzi (2004)

Essa influência antrópica pode ser vista durante toda a extensão do talude, cuja presença de residências se encontra na base e no pé do talude como mostra a Figura 7 abaixo.

Figura 7 - Ocupações em volta do Talude em estudo



Fonte: Drone monitorado pela UFPB (2023)

3.4.3 Diminuição do risco de deslizamento

A cobertura vegetal pode produzir efeitos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade das encostas. De uma forma geral, a vegetação protege o solo de vários efeitos climáticos e as raízes podem reforçar o solo, aumentando a resistência do sistema solo/raiz. (Gerscovich, 2016)

A proteção superficial dos taludes tem como objetivo impedir a formação de processos erosivos e diminuir a infiltração de água no maciço através da retenção física das folhas e absorção da vegetação pelas raízes. Os solos expostos à erosão e a infiltração, devido à remoção da vegetação e das camadas superficiais podem contribuir para uma possível movimentação de massa. (CAVANCANTI, 2017)

Segundo Florenzano (2008) diversas metodologias vêm sendo elaboradas com o objetivo de prever os movimentos de massa, a qual pode ser contribuído pelos administradores públicos em atividades como: elaboração de planos de evacuação, elaboração de mapas de risco/suscetibilidade, planejamento urbano e planejamento de traçado de rodovias, entre outro.

Além da proteção do talude e das políticas públicas de forma macro através de planos de ação e intervenção, também se faz necessário a conscientização da população no entorno a fim de criar a consciência dos riscos que o talude oferece, esta metodologia pode ser oferecida através de campanhas e projetos na comunidade.

3.5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE

A análise de estabilidade significa verificar se o talude é estável através da determinação do fator de segurança. Essa análise envolve um conjunto de procedimentos para quantificar quão próximo da ruptura determinado talude se encontra. Alguns aspectos devem ser levados em consideração para a análise da estabilidade, como: condições de carregamento, escolha do método de cálculo, estudo da pluviometria, perfil geotécnico e geometria do talude.

Cada método de cálculo apresenta suas próprias características para satisfazer o equilíbrio e solução do problema, como: equações de equilíbrio, consideração das formas de superfície de ruptura circular e não circular e hipóteses simplificadoras.

3.5.1 Fator de Segurança (FS)

De acordo com Maragon (2009), o fator de segurança é o valor da relação estabelecida entre a resistência ao cisalhamento disponível do solo para garantir o equilíbrio do corpo deslizante e a tensão de cisalhamento mobilizada, sob o efeito dos esforços atuantes, como descreve a Equação 1 abaixo.

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

Segundo Ahrendt (2005), esse fator indica o grau de estabilidade de um talude e ainda a superfície de ruptura crítica, quando este é o mínimo. O valor limite entre a condição estável e instável de uma encosta é considerado 1,0, sendo que $FS \leq 1$ indica que o talude está instável ou na eminência de romper.

Todavia a NBR 11682 (2009) admite que o valor de FS pode variar de acordo com a situação do talude, no que diz respeito ao perigo de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e de danos ao meio ambiente como é descrito nas Tabelas 6 e 7. Assim, esses fatores devem ser considerados visando as situações atuais e futuras, previstas ao longo da vida útil do talude.

Tabela 6 - 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 7 - 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: NBR 11682 (2009)

Assim, com estes fatores discriminados, é possível verificar na Tabela 8, qual FS é considerado recomendado para ter um talude estabilizado.

Tabela 8 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

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

Fonte: NBR 11682 (2009)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O município de João Pessoa está localizado na porção centro-sul do litoral do Estado da Paraíba (Figura 8). Segundo IBGE (2021) encontra-se na mesorregião da Zona da Mata Paraibana e microrregião de João Pessoa, tendo área total de 210,044 km² com uma população estimada de 825.796 pessoas, possuindo atualmente 65 bairros.

Figura 8 - Localização do município de João Pessoa



Fonte: Autora (2023)

De acordo com Pereira (2017), a cidade de João Pessoa teve um lento crescimento urbano, o qual se intensificou a partir da década de 1960, ocasionando o processo de uso e ocupação do litoral. Contudo esse crescimento, assim como na maioria das grandes cidades brasileiras, proporcionou a estruturação, apenas, das áreas mais favorecidas em detrimento das menos favorecidas. Em paralelo ao progresso que acometia os grandes bairros residenciais e comerciais da orla marítima, as encostas e vales de rios, ocupadas pela população de baixa renda, sofriam com o empobrecimento urbano. Problema urbano decorrente da falta de planejamento, responsável pela degradação social e ambiental da cidade.

A área estabelecida para a pesquisa é o talude da Av. Min. José Américo de Almeida, também conhecida por Av. Beira Rio, sua extensão fica localizado nos bairros de Tambauzinho, Miramar e Expedicionários, município de João Pessoa, localizado na região litorânea do estado da Paraíba conforme Figura 9 abaixo.

Com relação à geomorfologia Silva (2018) menciona que João Pessoa apresenta um relevo com predominância dos baixos planaltos costeiros, superfícies tabulares planas com a presença de ondulações moderadas ou fortes, de curta a média extensão, que recobrem cerca de 97% do município de João Pessoa a qual é ilustrado na Figura 11 abaixo.

Figura 11 - Mapa geomorfológico da região de João Pessoa



Fonte: Lima, 2020 (Adaptado pela autora)

De acordo com Lima (2021), a região Dt 31 que abrange a área de estudo tem como relevo a presença de tabuleiros suaves com topos tabulares. Barbosa e Barbosa (2016) corrobora que a geomorfologia da região é caracterizada principalmente por um relevo plano e suavemente ondulado com declividade média inferior a 10%.

Ressalta-se que a ação humana, devido ao desenvolvimento e ocupação urbanística, interferiu na geomorfologia da cidade, provocando alterações na Formação Barreiras e contribuiu para o surgimento de encostas induzidas, criando um ambiente favorável a movimentos de massa.

Lima (2021) acrescenta que a Formação Barreiras apresenta sua geomorfologia dominada por tabuleiros de grande extensão, recortados por grandes vales de rios na zona mais proximal da faixa costeira. Essa formação é a unidade estratigráfica mais contínua da margem continental do Brasil e tem sido associada comumente aos Tabuleiros Litorâneos, uma feição geomorfológica aparentemente não deformada.

A Formação Barreiras apresenta estratificação quase que totalmente horizontal, constituída por sedimentos de diversas naturezas, desde areias até argilas de coloração das mais variadas, incluindo, por vezes, leitos de seixos rolados. Em camadas inferiores encontram-se

argilas de coloração arroxeadas e cinzentas, e sob as camadas superiores comumente se verifica a presença de concreções de ferro (VALENÇA e SOUZA, 2017).

Ademais, de acordo com Silva (2018), na formação barreiras o solo apresenta características argilosas, arenosas e aluviais. Solos com essas características possuem uma especial fragilidade no que se refere à deflagração de desastres naturais, uma vez que os solos arenosos permitem uma rápida permeabilização confluindo para processos erosivos, os argilosos absorvem água com facilidade promovendo uma rápida saturação.

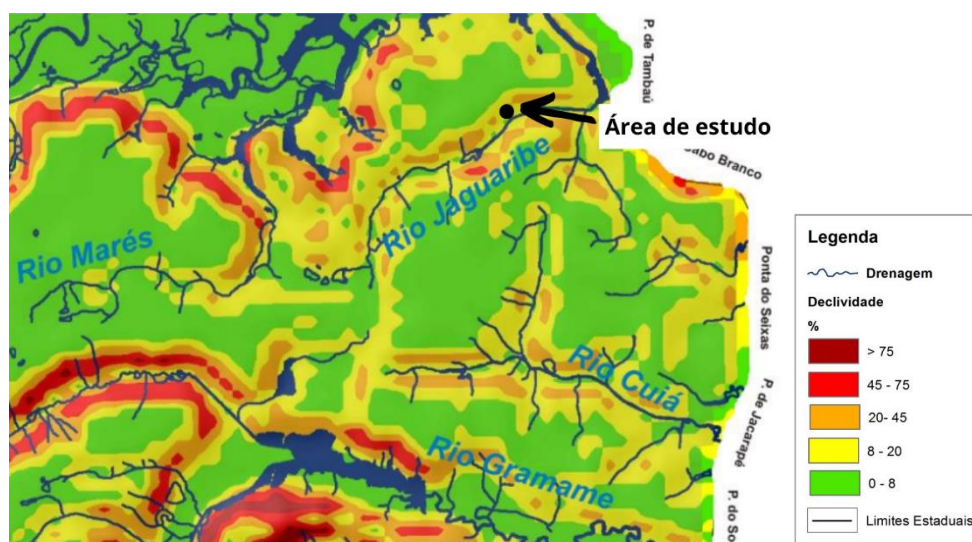
Relacionado as características geomorfológicas da região em estudo, têm-se as características de altimetria conforme Figura 12, e declividade conforme Figura 13. Esses fatores físicos influenciam diretamente no estudo dos movimentos visto que seus valores potencializam o acontecimento de desastres quando não se encontram em equilíbrio. Apesar desses dados serem mensurados, eles estão em constante mudança a partir do desenvolvimento urbano e das alterações do uso e ocupação do solo.

Figura 12 - Mapa Hipsométrico da região de João Pessoa



Fonte: Lima, 2020 (Adaptado pela autora)

Figura 13 - Mapa de declividade da região de João Pessoa



Fonte: Lima, 2020. (Adaptado pela autora)

Com a análise da representação hipsométrica do terreno é possível notar que área estudada se encontra com um altimetria no intervalo de 10 a 40 metros. Assim como sua declividade possui índices suaves entre 8 a 45%. Esses valores quando atrelados a fatores externos de vegetação ou cortes no talude para urbanização podem alterar e influenciar no aceleração de movimentos de massa.

4.1.2 Clima

João Pessoa possui clima tropical úmido, apresentando dois regimes climáticos. Segundo PEREIRA (2014), o primeiro regime é o período chuvoso, correspondendo à parte do verão, o outono e início do inverno, totalizando um conjunto de sete meses com os maiores totais pluviais, sendo os meses de abril a julho os mais representativos. Já o segundo regime, é o período seco, que apresenta baixos índices pluviométricos, equivalente ao final do inverno, abarcando todo o período da primavera e início do verão (setembro a janeiro).

De acordo com Silva (2018), um fator importante relacionado às chuvas de João Pessoa diz respeito aos chamados “eventos de chuvas diárias extremas”, que são valores e intensidades de precipitação bem superiores ao esperado em um curto espaço de tempo. Esses eventos quando ocorridos em locais de solo argiloso, uma vez que eles absorvem água com facilidade e promovem uma rápida saturação.

4.2 EVOLUÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA ÁREA DE ESTUDO

Para a coleta dos dados de deslizamento, utilizou-se como base o conjunto de dados de ocorrências de movimentos de massa fornecidos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), órgão que realiza constantemente o monitoramento dessas áreas a fim de identificar as zonas de riscos e eventualmente propor intervenções caso ofereça risco a comunidade.

Levando em consideração a área em estudo que corresponde ao talude que corta os bairros de Expedicionários, Miramar e Tambauzinho, foi catalogado 30 ocorrências como mostra a Tabela 9, relacionadas a movimentos de massa na região durante o período de 2013 até metade de 2022.

Tabela 9 - Ocorrências relacionadas a deslizamento de massa na área de estudo durante o período de 2013 a 2022.

Ocorrência	Logradouro	Bairro	Descrição	Data
1	R. Min. José Américo de Almeida, 147	Miramar	Casa Ameaçada Por Barreira	18/01/2013
2	R. Manuel Cândido Leite, 2066	Tambauzinho	Barreira Ameaça Moradia	18/08/2013
3	R. 31 de Março, 17	Miramar	Barreira Afeta Moradia	11/07/2014
4	Av. Beira Rio, S/Nº	Torre	Barreira Deslizando	05/06/2015
5	R. Manuel Candido Leite, 345/262	Miramar	Desabamento Parcial	28/07/2015
6	Av. Beira Rio, 275	Tambauzinho	Barreira Deslizando	11/08/2015
7	R. Manoel Candido Leite, 1791	Tambauzinho	Barreira Deslizando	11/08/2015
8	R. Manoel Candido Leite, 1791	Tambauzinho	Barreira	18/01/2016
9	R. Manoel Candido Leite, 1795	Tambauzinho	Barreira	18/01/2016
10	Av. Beira Rio, 335/504	Tambauzinho	Barreira	01/06/2016
11	R. São Vicente, S/Nº	Miramar	Barreira	29/05/2017
12	Av. Beira Rio, S/N	Expedicionários	Estrutura Em Risco	04/07/2017
13	Av. Beira Rio, 191	Miramar	Barreira	28/07/2017
14	Av. Beira Rio, 179	Miramar	Barreira	28/07/2017
15	Av. Beira Rio, 2950	Expedicionários	Estrutura Em Risco	28/05/2018
16	Av. Beira Rio, 1154	Torre	Barreira	10/09/2018
17	Av. José Américo De Almeida, S/Nº	Miramar	Barreira/Deslizamento	15/04/2019
18	Av. Beira Rio, 335 Edf. Luzia Maria	Expedicionários	Barreira/Deslizamento	17/06/2019
19	Av. Beira Rio, 131	Torre	Barreira/Deslizamento	06/08/2019

20	Av. Ministro José Américo De Almeida, 131	Tambauzinho	Avaliação de Área	03/03/2020
21	Av. Beira Rio, S/Nº	Miramar	Estrutura Em Risco	31/03/2020
22	R. São Vicente, 118	Miramar	Estrutura Em Risco	03/04/2020
23	R. José Cavalcante Chaves, 935	Expedicionários	Barreira/Deslizamento	16/05/2020
24	Av. Beira Rio, 55	Torre	Barreira	16/11/2020
25	Av. Beira Rio, 171	Torre	Barreira	19/11/2020
26	Av. Beira Rio, 131	Torre	Deslizamento de Barreira	14/05/2021
27	Av. Ministro José Américo De Almeida	Beira Rio	Deslizamento de Barreira	19/05/2021
28	Av. Ministro José Américo De Almeida	Beira Rio	Barreira	16/06/2021
29	R. Moema Palmeira Sobral, 1340	Tambauzinho	Árvore	23/05/2022
30	Av. Ministro José Américo De Almeida, 4105/ Edf. Manhattan	Torre	Avaliação Estrutural	28/06/2022

Fonte: Autora (2023)

Vale ressaltar que o quadro acima informa apenas ocorrências acionadas pela comunidade a COMPDEC-JP. Os movimentos de massa na região são bem maiores visto que alguns pontos críticos ocorrem deslizamentos, entretanto não afeta a comunidade diretamente, visto que está localizado em uma área que não há o risco para os moradores da região, há apenas a degradação do local e da via pública.

Para exemplificar a correlação entre os níveis pluviométricos da cidade e os deslizamentos foi escolhido o evento 18, datado no dia 17 de junho de 2019 na Av. Beira Rio, nº 335 (Edifício Luzia Maria). O Edifício, como mostra a Figura 14, se localiza a frente de um trecho do talude em que apresenta histórico de deslizamentos.

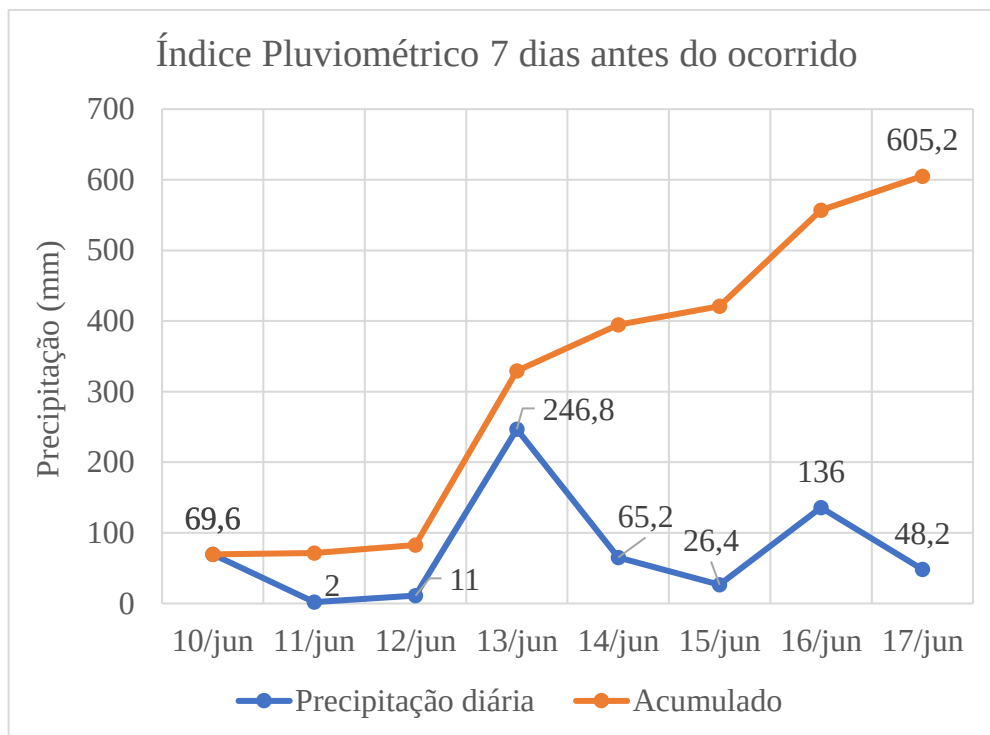
Figura 14 - Trecho do talude da Beira Rio



Fonte: Google Earth, 2022

Analisando os níveis pluviométricos de sete dias antes do evento citado, pode-se observar a decorrência de chuva na região, assim como a crescente do índice acumulado conforme mostra o Gráfico 1 abaixo.

Gráfico 1 - Índice Pluviométrico na região de JP-PB no período de 7 dias antes do deslizamento



Fonte: Autora (2023)

Conforme visita em campo, na extensão de todo o talude foram observadas 5 áreas com risco eminente de deslizamento, conforme é ilustrado nas Figuras 15 a 20, entre elas o P2 é o trecho que foi retirado as amostras e analisado em laboratório.

Figura 15 - Pontos críticos no talude da Av. Beira Rio



Fonte: Google Earth (Adaptado pela autora)

Figura 16 - Ponto 1. Próximo a CECAPRO



Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

Figura 17 - Ponto 2. Zona do Talude estudado



Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

Figura 18 - Ponto 3. Zona atrás de Edifícios residenciais



Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

Figura 19 - Ponto 4. Recorte do Talude ao lado da TV Master



Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

Figura 20 - Ponto 5. Talude sob o Edifício Boulevard Miramar



Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

4.3 SITUAÇÃO

A faixa que há o talude transpassa 3 bairros da cidade, dispondo-se em forma alongada sentido Leste-Oeste com cerca de 2,5 km (Figura 21) acompanhando o percurso do Rio Jaguaribe, variando sua altura no decorrer de sua extensão.

Figura 21 - Extensão do Talude pela área de estudo



Fonte: Google Earth (Adaptado pela autora)

Com o desenvolvimento da cidade houveram modificações na forma física do talude, seu topo é composto por trechos de ruas pavimentadas, edifícios altos e ocupação de casas, assim como sua base. A proteção do corpo do talude também é diversificada, há trechos com cobertura vegetal bastante densa, muros de arrimo e contenção, entretanto há pontos parcialmente desprotegidos, em que a ações externa incidem diretamente no maciço rochoso.

O trecho estudado foi o Ponto 2 (Figura 22), em que ao seu lado se encontra o Residencial Quatro Estações e em sua frente o Sindicato dos Bancários. Em seu topo está um terreno a venda com uma construção térrea abandonada, e em sua base está a Avenida Beira Rio.

Figura 22 - Trechos do Talude analisado para parâmetros geotécnicos





Fonte: Drone fornecido pela UFPB (2023)

Vale ressaltar o quanto o fator humano, a cobertura vegetal e os índices pluviométricos ajudam na aceleração das modificações nos taludes ocorrendo movimentações de massa frequentes, pode-se observar o mesmo trecho estudado há um ano atrás conforme Figura 23.

Figura 23 - Mesmo trecho do talude analisado há um ano atrás



Fonte: Google Maps (Mai/2022)

4.4 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

4.4.1 Coleta em Campo

O material deformado foi retirado de um ponto (Figura 24) do talude, assim ele foi utilizado para os ensaios de granulometria, limites de consistência e sedimentação.

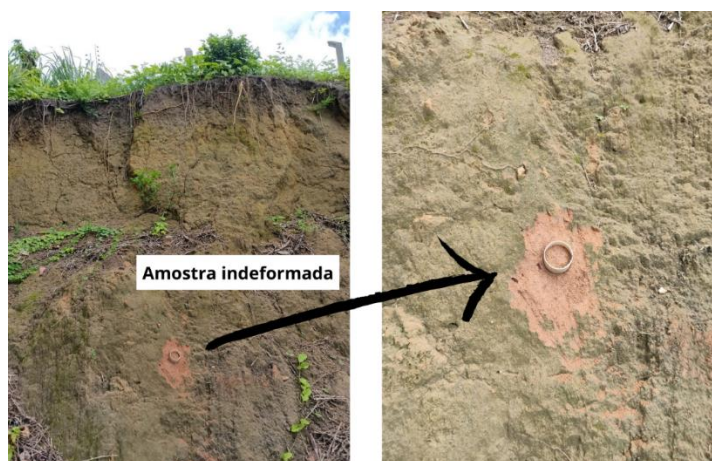
Figura 24 - Ponto do talude que foi retirado a amostra deformada



Fonte: Autora (2023)

O material indeformado foi retirado de um ponto (Figura 25) do talude, sendo utilizado para o ensaio de cisalhamento direto e posteriormente seus resultados utilizados no Programa GeoStudio.

Figura 25 - Ponto da amostra indeformável



Fonte: Autora (2023)

A retirada do material indeformado foi realizada com um soquete e tubo PVC com diâmetro de 75mm. Foi utilizado um tubo de 30cm de comprimento, a fim de retirar amostra suficiente para o ensaio de cisalhamento para o solo no estado natural e saturado.

Ambos os materiais, após retirada foram envoltos em pano úmido e armazenados caixa térmica a fim de manter as condições naturais encontradas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de investigar o comportamento e as características do solo que compõe o talude, coletaram-se amostras do solo para a realização dos ensaios. Como descrito na metodologia foi retirado uma amostra deformada com aproximadamente 4 kg, e uma amostra indeformada com tubo de PVC Ø75 com comprimento de 30cm. Os ensaios realizados serão descritos a seguir.

5.1 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

5.1.1 Análise Granulométrica

No ensaio de granulometria, determinou-se a porcentagem de material retido em cada peneira (de malhas diferentes). Primeiramente separou-se uma amostra seca deformada de aproximadamente 100 g e colocou-se no conjunto de peneiras (Figura 26) alinhadas uma em cima da outra, de forma que a peneira de maior abertura se situava no topo e a peneira de menor abertura situava-se na base.

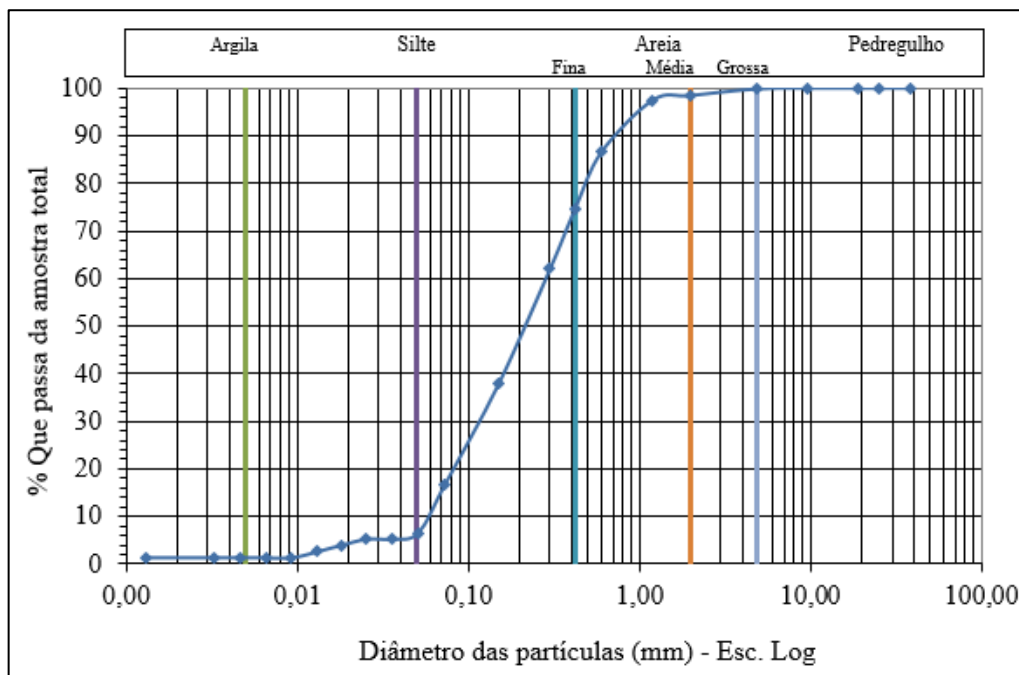
Figura 26 - Peneiras utilizadas para granulometria



Fonte: Autora (2023)

Em seguida agitou-se o jogo de peneiras e colheu-se a quantidade de amostra que ficou retida em cada peneira. Com a utilização de uma balança eletrônica, pesou-se a quantidade de massa que havia ficado em cada peneira. Com os dados obtidos, pôde-se obter a curva granulométrica (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Curva Granulométrica



Fonte: Autora (2023)

Quanto ao diâmetro dos grãos, a ABNT classifica os solos em 5 grupos: pedregulhos, areais grossas, areias finas, siltes e argilas, conforme Tabela 10 abaixo. As argilas possuem diâmetros inferiores a 0,002 mm, entretanto, por limitação física das peneiras utilizadas no ensaio de granulometria por peneiramento, o seu percentual é obtido no ensaio por sedimentação. Em resumo, a granulometria apresentou as seguintes porcentagens de materiais:

Tabela 10 - Resumo da Granulometria

Pedregulho ($d > 2\text{mm}$)	2
Areia grossa ($0,42\text{mm} < d \leq 2\text{mm}$)	24
Areia fina ($0,074\text{mm} < d \leq 0,42\text{mm}$)	50
Silte + Argila ($d \leq 0,074\text{mm}$)	24
Total	100
Areia Total (entre a Pen nº10 e a 200)	74

Fonte: Autora (2023)

A partir dos resultados obtidos na análise granulométrica realizada, foi possível verificar que o solo possui uma quantidade expressiva de areia fina e em seguida de silte e argila, logo o solo é caracterizado como areno-argiloso.

5.1.2 Ensaio de Sedimentação

Nesse ensaio, misturou-se 30,09g de solo passante da peneira de número 100 com 20mL de defloculante e água destilada (adicionada até cobrir a amostra totalmente) e deixou-se a

mistura descansando por 12 horas. Depois desse período, a mistura foi colocada em uma proveta, em que a mesma foi completada com água destilada até chegar a um volume total de 1000 ml (Figura 27).

Figura 27 - Ensaio de Sedimentação



Fonte: Autora (2023)

Em seguida, mergulhou-se nessa proveta o densímetro e fez-se a leitura densimétrica, depois retirou-se o densímetro, colocando-o em um recipiente com água. Os próximos passos consistiram em repetir esse mesmo procedimento nos intervalos de tempo presentes na Tabela 11. Para esse ensaio, para cada leitura do densímetro, pode-se determinar a % do solo em suspensão (silte e argila).

Tabela 11 - Resultados da sedimentação

SEDIMENTAÇÃO						Massa de solo utilizada - g:			30,09
Massa Específica dos Grãos de Solo: g/cm³					2,62	Peneira utilizada:		P ₁₀	100
	Hora	Tempo	Leitura	Tempera-	Correção	Leitura	Altura	Diâme-	%
Data	da	Leitura	Densim.	tura	Temp.	Corrigida	Queda	tro	Amostra
	Leitura	(min)	Mg/cm³	°C	g/cm³	Mg/cm³	cm	mm	Total
09/05/2023	07:40	0,5	1,007	26	-	-	16,3990	0,072	9,132
09/05/2023	07:41	1,0	1,005	26	-	-	16,3993	0,051	6,523
09/05/2023	07:42	2,0	1,004	26	-	-	16,3994	0,036	5,218
09/05/2023	07:44	4,0	1,004	26	-	-	16,3994	0,025	5,218
09/05/2023	07:48	8,0	1,003	26	-	-	16,3996	0,018	3,914
09/05/2023	07:55	15,0	1,002	26	-	-	16,3997	0,013	2,609
09/05/2023	08:10	30,0	1,001	26	-	-	16,3999	0,009	1,305
09/05/2023	08:40	60,0	1,001	26	-	-	16,3999	0,007	1,305

09/05/2023	-	120,0	1,001	26	-	-	16,3999	0,005	1,305
09/05/2023	-	240,0	1,001	26	-	-	16,3999	0,003	1,305
09/05/2023	-	1500,0	1,001	26	-	-	16,3999	0,001	1,305

Fonte: Autora (2023)

5.1.3 Limites de Consistência

Também conhecidos como Limites de Atterberg, estes ensaios permitem determinar os limites de consistência do solo a partir da sua caracterização em relação a sua umidade. O termo consistência diz respeito ao grau de coesão e adesão da massa do solo. Quando aplicado aos solos finos ou coesivos, a consistência está ligada ao seu teor de umidade.

O Limite de Liquidez (LL) determina o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. Esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande (Figura 28) no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas.

Figura 28 - Aparelho Casagrande utilizado no ensaio para determinação do Limite Liquidez



Fonte: Autora (2023)

O Limite de Plasticidade (LP) se refere ao valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido e representa a propriedade que faz o sólido ser capaz de ser moldado. É o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas peças, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro sobre uma placa esmerilhada. Ou seja, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente (Figura 29).

Figura 29 - Ensaio de determinação do Limite de Plasticidade



Fonte: Autora (2023)

Os dados coletados nos ensaios de limites de consistência, resultaram na Tabela 12.

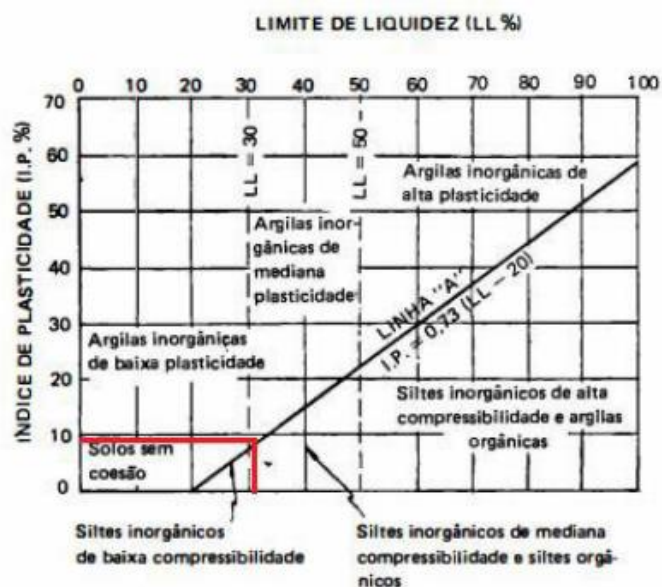
Tabela 12 - Resultados dos limites de consistência

Parâmetros	Solo
LL	28,5 %
LP	24,0%
IP	4,5%

Fonte: Autora (2023)

Utilizando o gráfico abaixo (Figura 30) proposto por Caputo (1996), verificou-se que o solo estudado se encontra na região próxima a siltes inorgânicos de baixa compressibilidade e solos sem coesão.

Figura 30 - Gráfico Limite de Liquidez x Índice de Plasticidade



Fonte: Caputo (1996)

O baixo índice de plasticidade confirma a pouca porcentagem de argila presente no solo em comparação a areia, obtida no ensaio de granulometria.

5.1.4 Ensaio de Cisalhamento direto

Esse ensaio tem o objetivo de determinar a resistência ao cisalhamento, em termos de tensões efetivas, utilizando o critério de ruptura de Mohr Coulomb. No ensaio foi utilizado um equipamento com sistema de cargas através de peso em pendural. Foram realizadas as leituras das deformações horizontais com o auxílio do extensômetro com sensibilidade de 0,01 mm e uma célula de carga para determinação das forças horizontais (Figura 31).

Figura 31 - Equipamento para Ensaio de Cisalhamento Direto



Fonte: Autora (2023)

Os ensaios foram realizados para o solo natural e saturado, com aplicação de cargas de 5 kg, 10 kg e 15 kg, de forma que na forma saturada, o corpo de prova foi moldado, locado no equipamento e envolto com água, após 5 minutos foi iniciado o ensaio. As Figuras 32 e 33 representam, respectivamente, a modelagem do corpo de prova e corpo de prova cisalhado.

Figura 32 - Modelagem do corpo de prova



Fonte: Autora (2023)

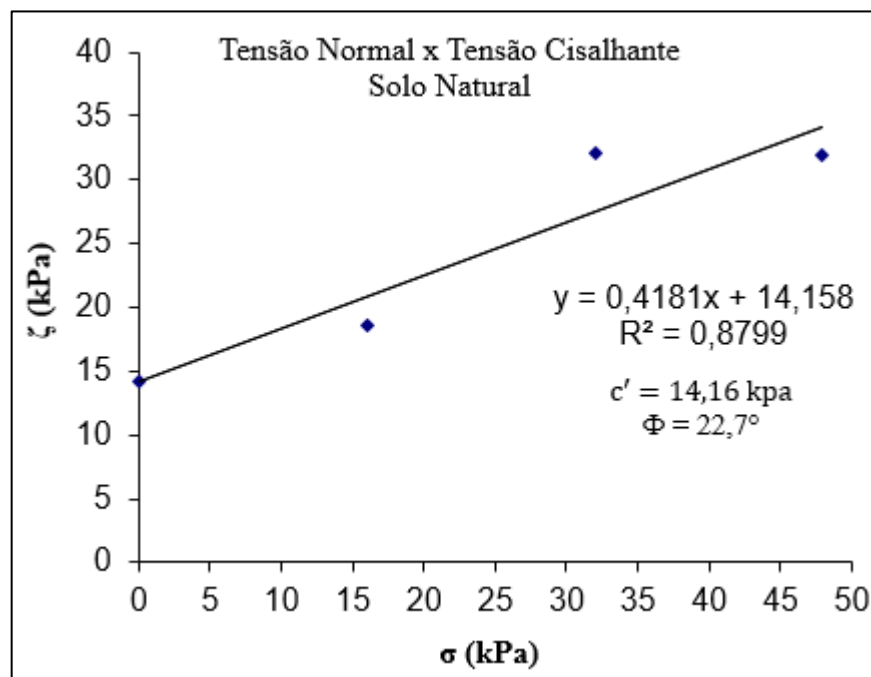
Figura 33 - Corpos de prova cisalhados



Fonte: Autora (2023)

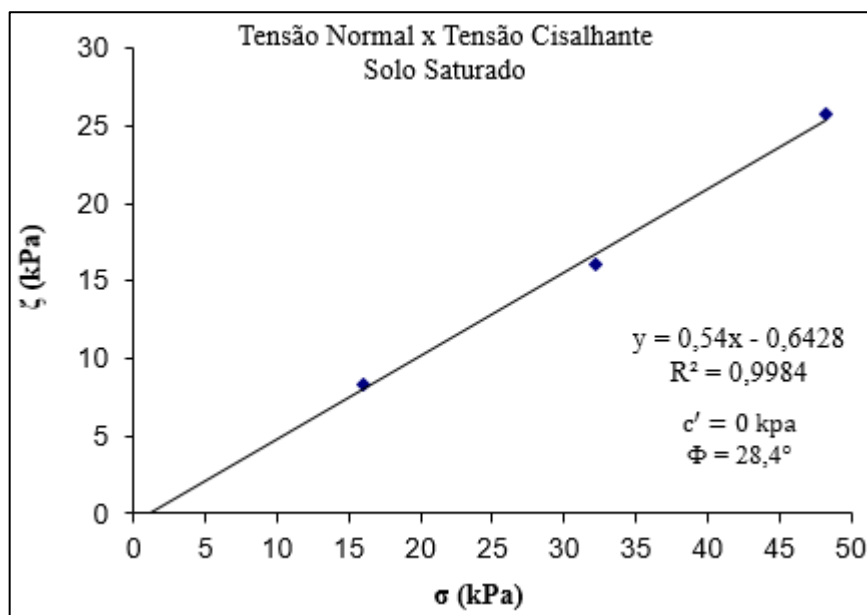
Em todos os ensaios, a força F em kg foi utilizada de forma direta registrado na célula de carga instalada. Utilizando os valores máximos de tensão de cisalhamento de cada ensaio e os valores correspondentes de tensão normal, chegou-se aos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Tensão cisalhante x Tensão normal (Solo Natural)



Fonte: Autora (2023)

Gráfico 4 - Tensão cisalhante x Tensão normal (Solo Saturado)



Fonte: Autora (2023)

A partir dos gráficos, pôde-se analisar que o solo se comportou como esperado. Na Tabela 13 abaixo é apresentada a situação de umidade de cada amostra ao ser ensaiado assim como seus valores de ângulo de atrito e coesão.

Tabela 13 - Resultado das Amostra do Ensaio de Cisalhamento Direto

Condição	Umidade	Ângulo de Atrito	Coesão
Natural	13,13%	22,7°	14,16 kpa
Saturado	19,12%	28,4°	0 kpa

Fonte: Autora (2023)

5.2 GEOSTUDIO

A análise da estabilidade foi realizada utilizando o software GeoStudio 2021 – Slope/W da GEO-SLOPE International Ltd. versão estudantil, que se baseia na Teoria do Equilíbrio Limite. Para a determinação do Fator de Segurança foram utilizados dois métodos de análise, Bishop e Jambu, e determinado para cada perfil o menor fator de segurança e sua respectiva superfície de ruptura conforme mostrado no Apêndice A.

A escolha desses métodos ocorreu a partir de quais considerações da estática são consideradas e satisfeitas, em quais esforços normais e cisalhantes das fatias são inclusos, e a interação considerada das forças entre fatias. Na Tabela 14 pode-se observar essas condições atribuídas aos métodos que serão utilizados.

Tabela 14 - Características dos métodos de equilíbrio limite

Método	Equilíbrio de Momentos	Equilíbrio de Forças Horizontais	Força Normal entre Fatias (E)	Força Cisalhante entre Fatias (X)
Bishop	Sim	Não	Sim	Não
Jambu	Não	Sim	Sim	Não

Fonte: Krahn (2003)

As análises foram realizadas em modelo bidimensional, cada um em sua condição natural e saturada. Para isso, foram informados como dados de entrada relacionados ao perfil estudado e considerações de análise:

- Geometria do perfil;
- Definição das propriedades dos materiais conforme o modelo Mohr-Coulomb: peso específico, coesão e ângulo de atrito;
- Sobrecargas aplicadas.

Em posse dos dados apresentados na Tabela 13, utilizou-se o programa Slope/W para representar o talude estudado e obter o fator de segurança da situação mais desfavorável. A seguir (Tabela 15) é apresentado os valores encontrados utilizando os dois métodos citados anteriormente a fim de estabelecer um resultado comparativo.

Tabela 15 - Comparação entre os FS no estado natural e saturado para cada método

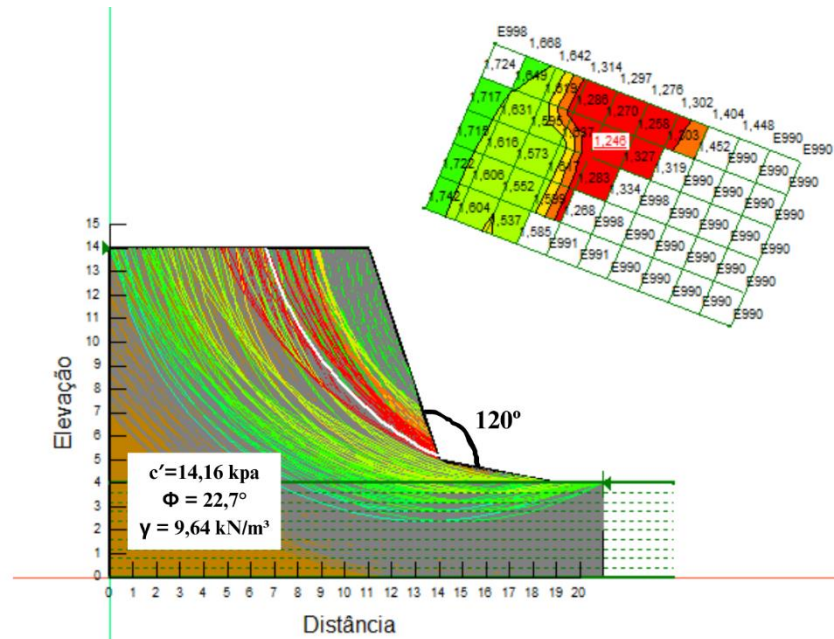
Método	Fator de Segurança	
	Natural	Saturado
Bishop	1,246	0,214
Jambu	1,306	0,186

A superfície de pesquisa utilizada foi Grade e raio sendo uma grade de 10x5 e o raio com 10 linhas

Fonte: Autora (2023)

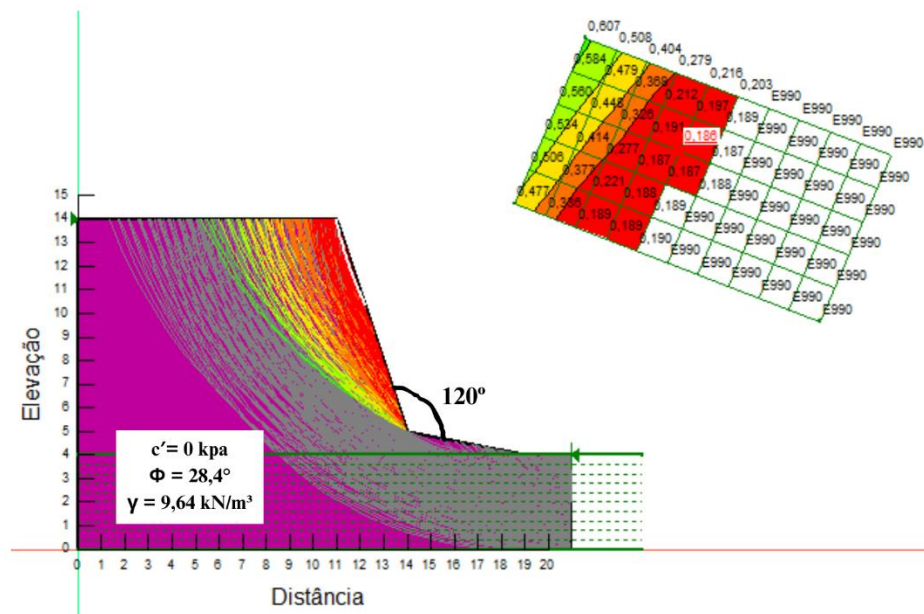
Analisando os valores mais críticos dado pelos métodos, para o talude em estado natural o fator de segurança encontrado foi 1,246 pelo método de Bishop (Figura 34) e para o estado saturado foi 0,186 pelo método de Jambu (Figura 35).

Figura 34 - Fator de Segurança em estado natural pelo Método de Bishop



Fonte: Autora (2023)

Figura 35 - Fator de Segurança em estado saturado pelo Método de Jambu



Fonte: Autora (2023)

6. CONCLUSÃO

O deslizamento é o tipo de movimento mais eminente na região de João Pessoa, em especial na área da Avenida Beira Rio. A partir do cruzamento da bibliografia com os dados da pesquisa é notório que os movimentos de massa apresentam relação direta com o aumento dos índices pluviométricos e a expansão exacerbada da população na ocupação do solo.

Ademais pôde-se observar através do voo de Drone nos pontos críticos a magnitude do talude, assim como seu comportamento. Para estudos futuros nessa área é interessante utilizar esse levantamento aliado a programas planialtimétricos a fim de gerar um mapeamento completo da área do talude e ser utilizado em novas análises.

Diante resultados obtidos dos ensaios geotécnicos de caracterização da amostra, percebe-se pela granulometria que o solo apresentou uma boa graduação o que levou a resultados esperados quando comparado a estudos semelhantes em taludes da Formação Barreiras.

No tocante a estabilidade do talude, é observado seu estado de limite entre as forças cisalhantes e a normal atuantes no corpo do talude no seu estado natural, e esse fator de segurança cai drasticamente ao simular uma situação saturada. Apesar do FS no estado saturado se mostrar abaixo de 1, ou seja, no estado de ruptura, o talude não apresenta movimentos pois não foi atingido o nível de saturação suficiente para o colapso.

Analisando o F.S. obtido no talude natural, percebe-se que é um valor próximo a condição de ruptura. Esse dado infere que o talude estudado se encontra na iminência de um movimento de massa a partir de qualquer modificação nas condições naturais dele, como chuvas intensas e corrobora com a susceptibilidade do bairro à ocorrência de deslizamentos, identificada a partir dos dados da COMPDEC-JP.

Observando os resultados no aspecto da NBR 11682 (2009), o talude em estudo se encontra com Risco Alto em relação a perda de vidas humanas e Risco Médio contra danos materiais e ambientais. Cruzando os dois riscos encontra-se um FS mínimo para deslizamentos de 1,5. Portanto é possível afirmar que diante da NBR 11682 (2009) o talude também se encontra instável.

Tendo em vista a heterogeneidade do solo estudado, sugere-se como proposta para pesquisas futuras que visem dar continuidade ao estudo da estabilidade do talude analisando outros pontos críticos e criando um banco de dados para análises posteriores, assim como propor e comparar as diversas soluções de estabilização para o talude estudado aliado a sua geometria e localização.

REFERÊNCIAS

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, p. 33. 2009.

BARBOSA, T. S., BARBOSA, M. E. F. Aspectos Geomorfológicos e Mapeamento das Unidades de Relevo do Município de João Pessoa, PB. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 1, p. 143-155, 2016.

BENESSIUTI, M. F. **Estudos dos mecanismos de instabilidade em solos residuais de biotita-gnaiss da bacia do ribeirão Guaratinguetá**. 2011. 128f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

BITTENCOURT, D. M. A. Notas de Aula da disciplina de Geotecnia II – Estabilidade de Taludes, ministrada pelo Prof. MSc. Douglas M. A. Bittencourt na PUC Goiás. 2020. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17430/material/PUC_GEOII_17_Estabilidade%20de%20Taludes.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRITTO, C. B. de, FIORI, A. P. Estabilidade de Taludes Rochosos em rodovias: Análise da compartimentação estrutural de maciços. **Geotecnia**, nº 151, p. 77-88, março de 2021.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. 2007, 176 p.

CARVALHO, E. T. de. **Geologia urbana para todos**: Uma visão de Belo Horizonte. 2. ed. Edézio Teixeira de Carvalho: Belo Horizonte, 2001.

CAVALCANTI, M. M. **Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda**. 2017. 97f. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CERRI, L.E. da S.; AMARAL, C. **Riscos Geológicos**. 1998. In: Oliveira, A.M dos S., Brito, S. N. (organizadores), **Geologia de Engenharia**. São Paulo, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), 1998, p. 301-310.

COUTINHO, R. Q.; SILVA, M. M. **Apostila da disciplina Mecânica dos Solos 2 - Estabilidade de Taludes**, ministrada pelo professor Roberto Coutinho na UFPE. 2005.

FIORI, A. P. **Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas**. Boletim Paranaense de Geografia, n.43, p.7-24, 1995.

FIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das rochas: Aplicações na Estabilidade de Taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

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

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 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/joao-pessoa.html> > Acesso em 10 de maio de 2023.

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.

KRAHN, J. The 2001 R.M. Hardy Lecture: The limits of limit equilibrium analyses. **Canadian Geotechnical Journal**, vol. 40, p. 643-660, 2003.

LEROUÉIL, S. *et al.* **Geotechnical characterization of slope movements**. In: **INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF LANDSLIDES**, nº 7, 1996, Trondheim, p. 53-74.

LIMA, V. F.; FURRIER, M. Detail geomorphological mapping proposal: a practical application in tabular relief. **Revista Brasileira de Geografia Física**, UFPE, v. 13, n. 07. Dez. 2020.

LIMA, V. F. de. **Influência estrutural na configuração geomorfológica do setor Sudeste da Paraíba e Nordeste de Pernambuco**. 2021. 177f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

MARANGON, M. **Estabilidade de taludes**. Juiz de Fora: UFJP, 2009. Disponível em: [https://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01 .pdf](https://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf). Acesso em: 20 out. 2023.

MARTINS, L. M. Junior. **Análise da Correlação entre Movimentos de Massa e Dados de Precipitação de João Pessoa-PB**. 2021. 75f. TCC (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

MENDES, R. M. **Estudo das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP)**. 2008. 256f. Dissertação (Mestrado) – USP, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, C. de A. **Mapeamento de risco de movimentos de massa em João Pessoa – PB através de uma metodologia quali-quantitativa de classificação de risco**. 2020. 119f. TCC (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

OLIVEIRA, M. T. de. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. 2009. 279f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.

PEREIRA, M. D. B. **As chuvas na cidade de João Pessoa: uma abordagem genética**. 2014. 93f. TCC (Monografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

PEREIRA, N. N. T. **Proposta de metodologia para mapeamento de risco geológico – Geotécnico de escorregamentos em João Pessoa – PB**. 2017. 57p. TCC (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PALADINO, G. Geólogos explicam desabamento de cânion em Capitólio e veem Brasil atrasado em avaliações de segurança de áreas turísticas. **Jornal da Unesp**, 14 jan. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/01/14/geologos-explicam-desabamento-de->

canion-em-capitolio-e-veem-brasil-atrasado-no-monitoramento-de-seguranca-de-areas turisticas/. Acesso em: 18 abr. 2023.

PARIZZI, M. G. *et al.* **Mecanismos de ruptura de taludes rochosos de Belo Horizonte, MG.** In: 5ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas – COBRAE. Anais. São Paulo, 2009. 9p.

PIMENTA, I. Junior. **Caracterização Geotécnica e Análise de Estabilidade de Taludes de Mineração em Solos da Mina Capão Xavier.** 2005. 145f. Tese (Pós-Graduação em *Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2005.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água:** Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2006.

SCHENKEL, J. C. **Mapeamento das áreas de risco de escorregamentos translacionais na Bacia do Arroio Forromeco - RS.** 2014. 76f. TCC (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SILVA, M. A. da. **Aplicação de um modelo de inteligência computacional híbrido (neuro-fuzzy) na previsão do potencial de ruptura de taludes.** 2016. 210f. Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, RJ, 2016.

SILVA, L. F. da. **Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB).** 2018. 71f. TCC (Monografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

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

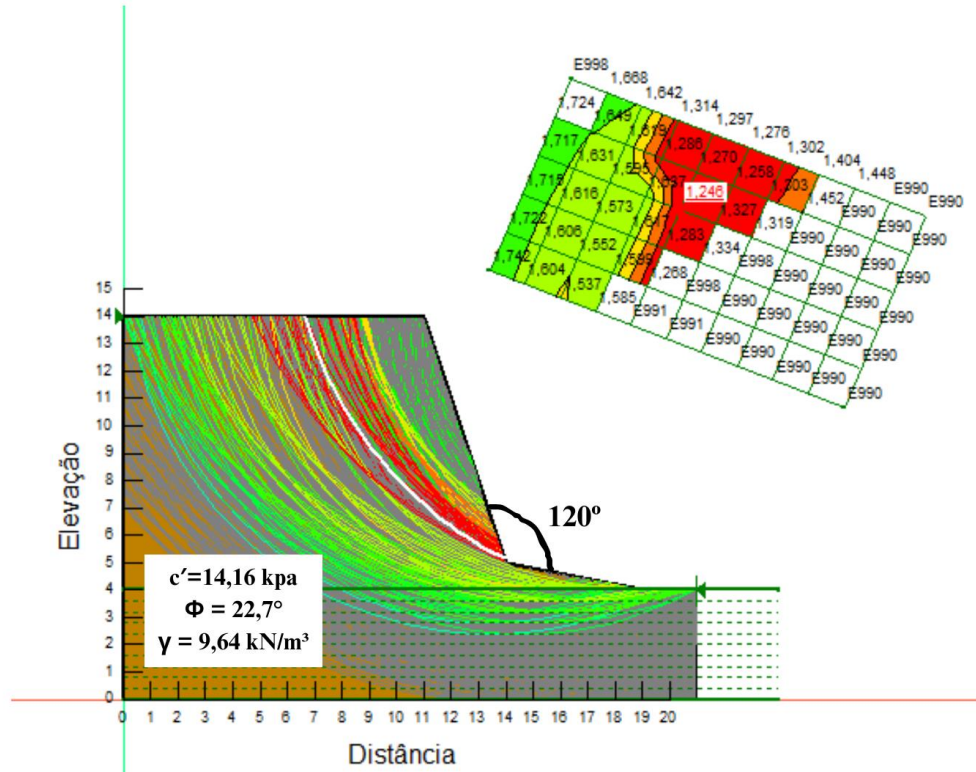
VALENÇA, L. M. M.; SOUZA, N. G. A. **Geologia e recursos minerais da Folha Itamaracá, SB.25-Y-C-VI escala 1:100.000.** Estados de Pernambuco e da Paraíba. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2017.

ZARUBA, Q.; MENCL, V. ***Landslides and their control.*** 2ª edição. Amsterdam: Elsevier, 1982.

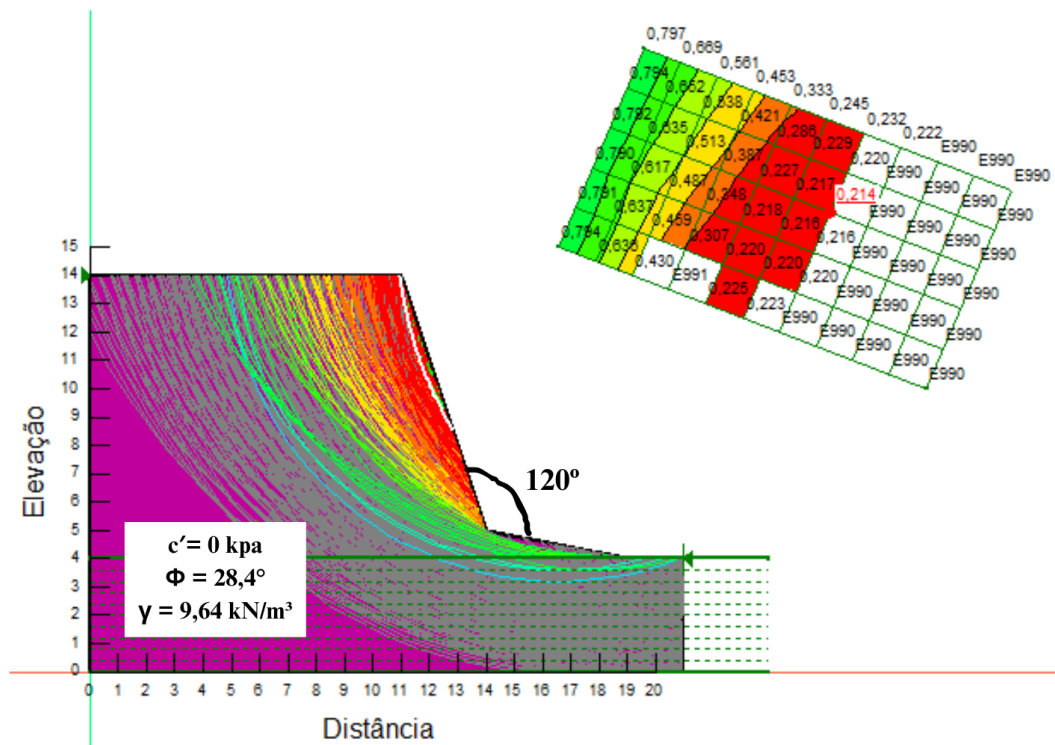
APÊNDICE A

Resultado de Simulações no GeoSlope

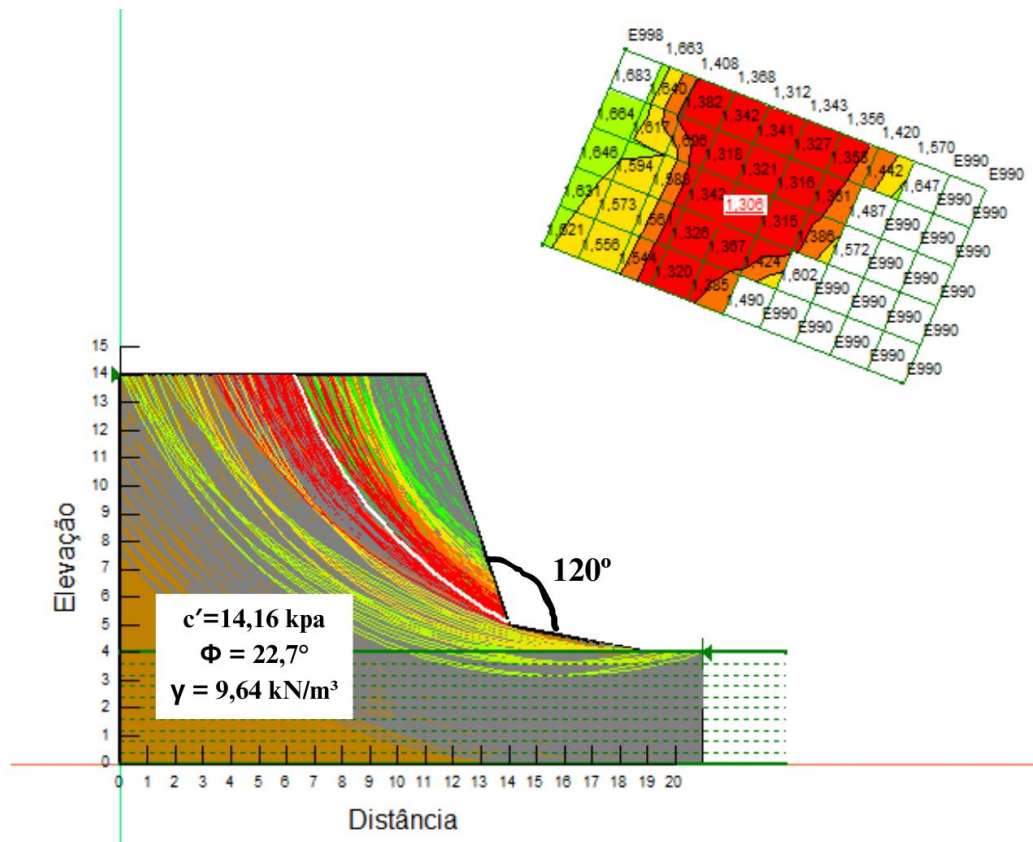
Método de Bishop – Natural



Método de Bishop – Saturado



Método de Jambu – Natural



Método de Jambu – Saturado

