



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A MOVIMENTO DE
MASSA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**

Por

Laís Costa Lima

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Agosto - 2019



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
– MESTRADO –

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A MOVIMENTO DE
MASSA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Laís Costa Lima

Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

João Pessoa – Paraíba

Agosto de 2019

LAÍS COSTA LIMA

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A MOVIMENTO DE
MASSA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação aprovada em ____/____/____ como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva – UFPB
(Orientador)

Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira– UFPB
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital – UFRN
(Examinador Externo)

À minha família,
aos verdadeiros amigos,
aos guerreiros e guerreiras das comunidades estudadas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, por ter iluminado meu caminho, permitindo a conquista de mais uma vitória em minha vida. À Ele minha maior gratidão.

Ao meu professor/ orientador, Tarciso, excelente professor e profissional. Foi uma honra ter sido sua aluna e orientanda nos últimos anos. Obrigada pelo apoio e investimento!

Aos professores Hamilcar Filgueira e Saulo Vital, que participaram da banca examinadora deste trabalho e deram suas valiosas contribuições.

Ao professor Fábio Lopes, por todas as contribuições prestadas.

Aos meus pais, Abdon e Sueli, meus maiores incentivadores. Homem e mulher de valor, que transmite aos filhos, por meio de suas próprias vidas, a importância da dedicação aos estudos. Os agradeço por serem quem são, pelo que me ensinam e por todo o apoio. Ao meu irmão, Lorrán, que sempre me incentiva a ir em busca dos meus sonhos. Amo vocês!

Ao meu namorado, Matheus, por sempre acreditar na minha capacidade e me motivar a conquistar meus objetivos.

Aos moradores das comunidades Saturnino de Brito, Santa Clara, Terra do Nunca, Minervino Bione e Roger.

A equipe da Defesa Civil Municipal, na pessoa de Genival, que me apoio nas idas aos aglomerados, sem as quais ficaria difícil a realização dessa dissertação.

A Sérgio do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPB pela essencial ajuda na realização dos ensaios necessários à execução deste trabalho.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, que contribuíram através dos seus conhecimentos para o meu crescimento profissional.

Aos colegas de turma e a todos aqueles que participaram, direta ou indiretamente, na realização desta dissertação.

RESUMO

O movimento de massa é um processo natural e transformador no relevo de uma região. Entretanto, quando esses fenômenos ocorrem em áreas ocupadas tornam-se perigosos para sociedade. A intensificação das áreas urbanizadas, o êxodo rural e a necessidade de moradia por parte da população de menor poder aquisitivo nas grandes cidades, tornou-se um fato no processo de crescimento das cidades na sociedade contemporânea, o qual determinou essa população a estabelecer suas residências em áreas sem condições de ocupação. Essas pessoas tornam-se mais susceptíveis a sofrer perdas por desastres naturais, ditas assim em situação de vulnerabilidade. Além do elevado número de vítimas fatais, os movimentos de massa podem acarretar também prejuízos socioeconômicos significativos. Com a função de subsidiar os processos para a gestão de riscos, a análise da estabilidade de taludes se insere como um importante instrumento nas áreas urbanas. Na cidade de João Pessoa há 48 áreas susceptíveis a ocorrência de problemas de movimentação de massa. Nesse contexto, esse trabalho apresenta uma análise de risco realizada em uma amostra constituída pelas comunidades Ari Barroso, Saturnino de Brito, Terra do Nunca, Minervino Bione e Santa Clara. Utilizou-se um Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) para o mapeamento das áreas. Foram aplicados modelos de avaliação de risco de movimentação de massa para determinação de coeficientes de segurança e de avaliação dos riscos geológicos relativos a deslizamentos de encostas, classificando-os. Os resultados apontaram riscos geológicos classificados como Alto a Muito Alto em 4 das comunidades estudadas e Médio na comunidade Minervino Bione. Com exceção da Comunidade Ari Barroso, o fator de segurança indicou riscos variando de Alto a Muito Alto.

PALAVRAS-CHAVE: análise de riscos, estabilidade de taludes, taludes em áreas urbanas

ABSTRACT

Mass movement is a natural and transformative process in the relief of a region. However, when these phenomena occur in occupied areas, they become dangerous to society. The intensification of urbanized areas, the rural exodus and the need for housing by the population with the lowest purchasing power in large cities has become a fact in the process of growth of cities in contemporary society, which has forced this population to establish their homes in areas with no housing conditions. These people are more likely to suffer losses from natural disasters, due to their vulnerable situation. In addition to the high number of fatalities, mass movements can also cause significant socioeconomic damage. Despite of the fact that humanity is facing these adversities is not new, and that historically many natural disasters have been recorded throughout history, the preventive reaction to these events is still a challenge for society. As the important function of subsidizing risk management processes, slope stability analysis is an important tool in urban areas. In the city of João Pessoa there are 48 areas susceptible to mass movement problems. In this context, this paper presents a risk analysis carried out on a sample consisting of the communities Ari Barroso, Saturnino de Brito, Terra do Nunca, Minervino Bione and Santa Clara. A drone, was used to map the areas. Mass movement risk assessment models were applied to determine safety coefficients and to evaluate the geological risks related to the collapse of hillsides, classifying them. The results showed geological risks classified as High to Very High in 4 of the studied communities and Medium in the Minervino Bione community. With the exception of the Ari Barroso Community, in which the safety factor indicated risks ranging from High to Very High.

KEYWORDS: slopes in urban areas, slope stability, risk analysis

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS	17
<i>Objetivo Geral</i>	17
<i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3 ROTEIRO METODOLÓGICO.....	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
1.5 REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2	21
2. GENERALIDADES	22
2.1 RISCOS	23
2.2 DESASTRES	25
2.2.1 BREVE HISTÓRICO DE DESASTRES	26
2.3 DEFESA CIVIL	28
2.4 REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 3	35
3. ESTABILIDADE DE TALUDES	36
3.1 EQUILÍBRIO LIMITE	37
3.2 FATOR DE SEGURANÇA (FS).....	38
3.3 MÉTODOS DAS FATIAS (LAMELAS)	40
3.3.1 MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO	42
3.3.2 MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE	43
3.3.3 MÉTODO DE FELLENIUS.....	43
3.4 REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 4	47
4. MOVIMENTOS DE MASSA	48
4.1 INTRODUÇÃO.....	48
4.2 DEFINIÇÃO	48
4.3 CLASSIFICAÇÃO	49
4.4 CONDICIONANTES QUE INFLUENCIAM NO MOVIMENTO DE MASSA ...	57
4.5 REFERÊNCIAS	59
CAPÍTULO 5	63

5. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	64
5.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	64
5.2 CONTEXTO HISTÓRICO	66
5.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÃO	68
5.4 USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES	68
5.5 REFERÊNCIAS	69
CAPÍTULO 6	71
6. METODOLOGIA	72
6.1 PRIMEIRA FASE	72
6.1.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES NO CAMPO COM USO DE VANT	72
6.1.2 COLETA E ANÁLISE DO SOLO	74
6.2 SEGUNDA FASE	75
6.2.1 RISCO DE NATUREZA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	75
6.2.2 ESTABILIDADE DE TALUDES	78
6.3 REFERÊNCIAS	79
CAPÍTULO 7	80
7. ÁREA DE ESTUDO	81
7.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ESTUDO.....	81
7.2 IDENTIFICAÇÃO DO RISCO.....	81
7.3 REFERÊNCIAS	84
CAPÍTULO 8	85
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
8.1 AREA 1: COMUNIDADE ARI BARROSO	86
8.1.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):.....	88
8.1.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	91
8.2 AREA 2: COMUNIDADE SATURININO DE BRITO	92
8.2.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):.....	95
8.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	98
8.3 AREA 3: COMUNIDADE TERRA DO NUNCA.....	98
8.3.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):.....	101
8.3.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	106
8.4 ÁREA 4: MINERVINO BIONE	106

8.4.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):.....	109
8.4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	111
8.5 ÁREA 5: COMUNIDADE SANTA CLARA	112
8.5.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):.....	115
8.5.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	118
8.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS E ANÁLISES	118
8.7 REFERÊNCIAS	121
CAPÍTULO 9	122
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
9.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES	123
9.2 SUGESTÕES.....	123
9.2 REFERÊNCIAS.....	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representando o roteiro metodológico.	18
Figura 2 - Relação entre risco de desastre e vulnerabilidade.	24
Figura 3 - Organograma da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC).	29
Figura 4 - Inclinação padrão utilizada em taludes construídos.	37
Figura 5 - Superfície de ruptura abaixo e acima do pé do talude.	38
Figura 6 - Representação dos esforços atuantes em um talude.	39
Figura 7 - Ilustração dos parâmetros descritos, através da análise de uma fatia.	42
Figura 8 - Parâmetros da equação de Bishop simplificado, representação para uma lamela.	43
Figura 9 - Forças atuantes em uma fatia pelo método de Fellenius.	44
Figura 10 - Ruptura de taludes do tipo rastejo.	54
Figura 11 - Ruptura de talude do tipo cunha.	54
Figura 12 - Ruptura de talude do tipo tombamento.	55
Figura 13 - Modelos de VANT mais utilizados.	65
Figura 14 - VANT Phantom 4 Pro.	72
Figura 15: Cálculo da declividade	76
Figura 16 - Localização da cidade de João Pessoa, PB.	81
Figura 17 - Pontos de áreas propensas a movimentação de massa na zona urbana do município de João Pessoa.	82
Figura 18 - Áreas de Estudo	83
Figura 19 - Mapa de localização da Comunidade Ari Barroso, bairro Alto do Mateus.	86
Figura 20 - Plano de voo: Área 1	87
Figura 21- Ortomosaico Comunidade Ari Barroso.	87
Figura 22 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.	88
Figura 23 - Via de acesso da Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.	89
Figura 24 - Tipo de material construtivo: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.	89
Figura 25 - Ausência do sistema de drenagem superficial: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.	90
Figura 26 - Lançamento da água servida no solo: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.	90
Figura 27 - Perfil transversal: Comunidade Ari Barroso	91
Figura 28 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Análise de estabilidade pelo método de Fellenius.	92
Figura 29 - Mapa de localização da Comunidade Saturnino de Brito.	93
Figura 30 - Plano de voo - Área 2: Comunidade Saturnino de Brito, bairro Trincheiras.	93
Figura 31 – Ortomosaico: Comunidade Saturnino de Brito.	94
Figura 32 – MDS: Comunidade Saturnino de Brito	95
Figura 33 - Via de acesso: Comunidade Saturnino de Brito.	95
Figura 34 - Tipologia dos domicílios em alvenaria: Comunidade Saturnino de Brito.	96
Figura 35 - Panorâmica da comunidade Saturnino de Brito	96
Figura 36 - Perfil transversal: Comunidade Saturnino de Brito.	97
Figura 37 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Saturnino de Brito.	98
Figura 38 - Mapa de localização - Comunidade Terra do Nunca.	99
Figura 39 - Ortomosaico: Comunidade Terra do Nunca.	100
Figura 40 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.	101

Figura 41 - Vias de acesso e material de construção das moradias: Comunidade Terra do Nunca.....	101
Figura 42 - Presença de lixo no topo do talude: Comunidade Terra do Nunca.....	102
Figura 43 - Perfil transversal de elevação do terreno: Comunidade Terra do Nunca.....	102
Figura 44 – Distância da moradia ao topo do talude: Comunidade Terra do Nunca.....	103
Figura 45 – Lançamento da água servida: Comunidade Terra do Nunca.	103
Figura 46 – escoamento de água servida a céu aberto: Comunidade Terra do Nunca.....	104
Figura 47 – Inclinação de árvores no talude: Comunidade Terra do Nunca.	104
Figura 48 – Sinais de movimentação - Trincas no asfalto: Comunidade Terra do Nunca...	105
Figura 49 – Estacionamento no topo do talude inferior: Comunidade Terra do Nunca.	105
Figura 50 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Terra do Nunca.	106
Figura 51 - Mapa de localização: Comunidade Minervino Bione.....	107
Figura 52 - Plano de voo - Área 4: Comunidade Minervino Bione.....	107
Figura 53 - Conjunto de imagens ortoretificadas: Ortomosaico - Comunidade Minervino Bione.	108
Figura 54 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.	109
Figura 55 - Material de construção das moradias: Comunidade Minervino Bione.	110
Figura 56 - Presença de lixo no talude: Comunidade Minervino Bione.....	110
Figura 57 - Perfil transversal de elevação do terreno: Comunidade Minervino Bione	110
Figura 58 - Muro de contenção: Comunidade Minervino Bione.....	111
Figura 59 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Minervino Bione.	112
Figura 60 - Mapa de localização: Comunidade Santa Clara.	112
Figura 61 - Plano de Voo Área 5: Comunidade Santa Clara, bairro Castelo Branco.....	113
Figura 62 – Ortomosaico: Comunidade Santa Clara.	114
Figura 63 - Modelo digital de superfície: Comunidade Santa Clara.	115
Figura 64 - Via de acesso e tipo de moradia: Comunidade Santa Clara.	115
Figura 65 - Presença de entulho no talude: Comunidade Santa Clara.	116
Figura 66 - Distância da moradia para o talude: Comunidade Santa Clara.	116
Figura 67 - Perfil transversal: Comunidade Santa Clara.....	116
Figura 68 – Lançamento de águas servidas sobre a encosta	117
Figura 69 - Cicatrizes de deslizamentos na encosta no km 19 da BR-230.	117
Figura 70- Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Santa Clara. ..	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala sintética para acidente, desastre e catástrofe	25
Tabela 2 - Definição das classes de estabilidade baseada nos valores de FS	40
Tabela 3 - Métodos que utilizam o princípio do equilíbrio limite	40
Tabela 4 - Classificação de Sharpe para movimentos de massa e fenômenos associados.....	50
Tabela 5 - Tipos de movimentos de massa	51
Tabela 6 - Classificação dos movimentos de massa de Hutchinson.....	52
Tabela 7 - Comparação entre as principais propostas brasileiras de classificação dos movimentos de massa.....	53
Tabela 8 - Tipos de escorregamentos segundo Augusto Filho	56
Tabela 9 - Principais interferências indutoras do movimento de massa	57
Tabela 10 - Classificação pela característica e desempenho do VANT	65
A tabela abaixo apresenta a relação entre os valores de declividade e inclinação (Tabela 11).	
Pode-se estabelecer que taludes acima de 17° são passíveis de movimentações e assim relacionar com a Lei 6766/79 (Lei Lehman).	76
Tabela 12 - Classificação do grau de risco.....	77
Tabela 13 – Definição das classes de estabilidade baseada nos valores de FS	78
Tabela 14: Áreas de Estudo.....	83
Tabela 15 – Grau de Risco Geológico: Comunidades estudadas.	119
Tabela 16 – Grau de Risco: Comunidades estudadas.	119
Tabela 17 – Grau de risco integrado: Comunidades estudadas	120

CAPÍTULO 1

1.INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A população urbana a nível mundial tem crescido rapidamente, passando de 3 milhões em 1960 para 7,5 bilhões em 2017 (BANCO MUNDIAL, 2018). Essa urbanização criou oportunidades para milhões de pessoas, no entanto, marginalizou outras mais, causando uma série de problemas sociais e ambientais.

O crescimento populacional e o modelo de desenvolvimento adotado forçam a população de baixa renda a estabelecer suas residências em áreas sem a mínima condição de infraestrutura ambiental (FILGUEIRA et al., 2009). A ausência de planejamento urbano juntamente com a fiscalização ineficiente e exiguidade na implantação de políticas públicas destinadas à construção de moradias populares, tem por consequência a ocupação de áreas inapropriadas como encostas e áreas ribeirinhas.

Entende-se por vulnerabilidade ambiental a maior ou menor susceptibilidade que um ambiente pode apresentar a um impacto potencial provocado pelo uso antrópico, evidenciando-se que a avaliação da capacidade de suporte da paisagem se constitui atualmente, uma necessidade para se evitar o comprometimento dos recursos naturais e a potencialização de processos morfogênicos negativos (TAGLIANI, 2002; SOUZA, 2016).

Em virtude de um conjunto de aspectos, naturais e sociais, nos dias de hoje, o número de pessoas vivendo em áreas vulneráveis a riscos de desastres tem aumentado e vem causando elevadas perdas materiais e vítimas fatais (SAMPAIO, 2018). Segundo o estudo feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no Brasil, cerca de 8,3 milhões de pessoas vivem nessas áreas.

Esse aumento do número de pessoas vivendo em áreas propensas a risco de desastres relacionados a fenômenos naturais tem sido uma das características negativas do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, verificado, principalmente, nas regiões metropolitanas. A população que se aloja nessas áreas, fica vulnerável a desastres, principalmente em ocasiões de eventos de chuvas intensas. Os processos de desestabilização de encostas estão entre os fenômenos mais frequentes relacionados a desastres ditos naturais, sobretudo nas áreas urbanas ocupadas por comunidades subnormais.

A cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, está incluída nesse cenário e vem sofrendo as consequências dessa urbanização desordenada. No Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa (SEMANÁRIO OFICIAL, 2015), há indicação da existência de 48 pontos susceptíveis a ocorrência de problemas de movimentação de massa.

O presente trabalho destina-se a avaliação da vulnerabilidade das áreas sujeitas ao movimento de massa na cidade de João Pessoa, PB. Para isso foram elaborados Modelos Numéricos dos Terrenos (MNT) a partir de cartas detalhadas com uso de geotecnologias a partir de imagens de câmeras embarcadas em um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Além disso, foram aplicados modelos de avaliação de risco de movimentação de massa para determinação de coeficientes de segurança devido a classes de estabilidade (AMARAL; FIORI, 2004), bem como os riscos geológicos relativos a deslizamentos de encostas (BRASIL, 2007).

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a vulnerabilidade a risco de desastre por movimento de massa na cidade de João Pessoa, PB.

Objetivos Específicos

- Utilizar um RPA para mapear áreas sujeitas a riscos de movimento de massa na cidade de João Pessoa, PB;
- Determinar a vulnerabilidade ao movimento de massa de áreas por meio do método do coeficiente de segurança ao deslizamento, definindo classes de estabilidade;
- Avaliar os riscos geológicos relativos aos deslizamentos de encostas de áreas vulneráveis;

1.3 ROTEIRO METODOLÓGICO

No desenvolvimento deste trabalho o roteiro metodológico seguido está apresentado de forma sucinta na figura 1. Pode-se observar três fases que englobam a metodologia empregada; a primeira trata-se da coleta de dados, a qual se caracterizou pela obtenção das amostras de solo, juntamente ao levantamento de informações espaciais e topográficas. Posteriormente, a fase de tratamento dos dados com a consecução de informações através da modelagem computacional. Por fim, a etapa de inferência onde os produtos gerados foram analisados afim de compor uma classificação indicativa sobre os riscos e a vulnerabilidade das áreas de estudo.

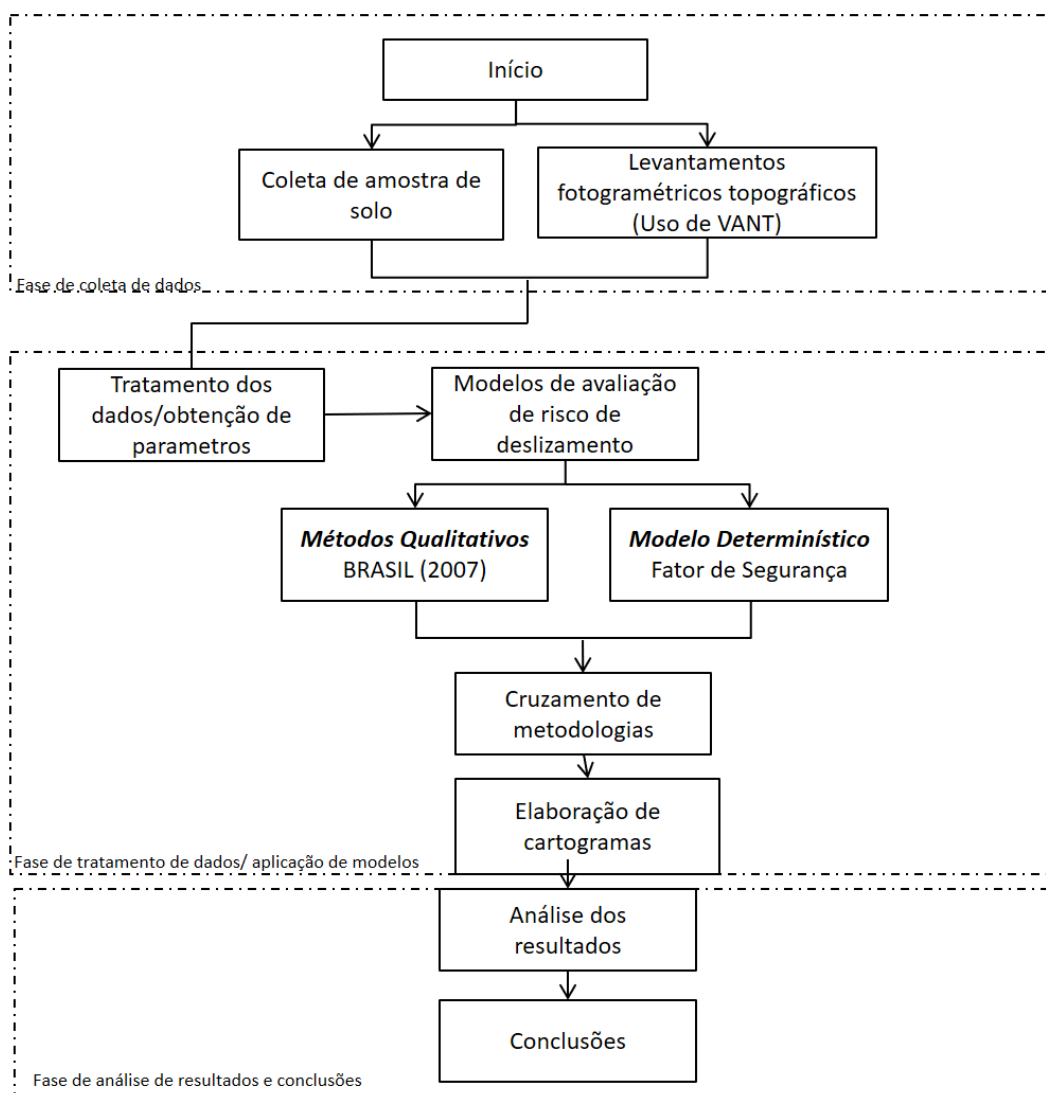


Figura 1 - Esquema representando o roteiro metodológico.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho encontra-se dividido em nove capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1

De caráter introdutório, o qual contextualiza e apresenta de forma sucinta o conteúdo do trabalho, a justificativa, os objetivos e o arranjo geral da dissertação.

Capítulo 2

Foi desenvolvida a revisão de literatura com ênfase nos tópicos: riscos, desastres e defesa civil, levantando os aspectos gerais desses temas.

Capítulo 3

Apresenta a conceituação e revisão na área de estabilidade de taludes, uma abordagem sintetizada dos métodos para calcular essa estabilidade e a segurança das superfícies inclinadas.

Capítulo 4

Aborda a definição, classificação e condicionantes de movimentos de massa, para uma maior elucidação do tema.

Capítulo 5

Discorre sobre os usos e classificações dos Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) e o estado da arte para os estudos que envolvem essa ferramenta e suas potencialidades.

Capítulo 6

Apresenta as metodologias usadas na pesquisa, onde são descritas todas as etapas executadas e as ferramentas empregadas para obtenção dos resultados.

Capítulo 7

Delimita e caracteriza a área de estudo deste trabalho, através de uma análise ocupacional do espaço.

Capítulo 8

Expõe os resultados finais obtidos após a aplicação das metodologias e as inferências sobre as informações mostradas.

Capítulo 9

Apresenta as considerações finais deste trabalho e a sugestão de temas para trabalhos futuros.

1.5 REFERÊNCIAS

AMARAL, C.; FIORI, A. P. Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruã, nas Proximidades do Falso Túnel. *In*: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 2004, São Carlos, **Anais...** São Paulo, Disponível em: <http://www.saci.ufscar.br/servico_clipping?id=3363> Acesso em: 01 maio 2019. p. 164 – 172.

BANCO MUNDIAL. População Mundial 2018. Disponível em <http://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bnccppjof8f9_&met_y=sp_pop_totl&hl_y=false&rdim=region&dim=true&tstart=-296254800000&tend=1502506800000&hl=pt&dl=pt&ind=false>. Em 06 de julho 2019.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Política Nacional De Defesa Civil**, Brasília, DF, 2000.

FILGUEIRA, H. J. A. **Os desastres relacionados com fenômenos naturais no contexto dos sistemas organizacionais**. *In*: GARCIA, J. P. M. (Org.). Desastres na Paraíba: riscos, vulnerabilidade e resiliência. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013. p. 53 -63.

IBGE. Censo Demográfico 2010. **Taxa de urbanização**. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>> . Acesso em 10 de julho de 2018.

SAMPAIO, C. Brasil tem 8,3 milhões de pessoas vivendo em áreas de risco (2018). **Brasil de Fato**. 4 Jul. 2018. Disponível em: < <https://www.brasildefato.com.br/2018/07/04/brasil-tem-83-milhoes-de-pessoas-vivendo-em-areas-de-risco/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SEMANÁRIO OFICIAL 2015. Município de João Pessoa 2015. Lei Complementar nº 093, 30 de dezembro de 2015. Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa. Semanário Oficial nº 1509, de 30 de dezembro de 2015. Disponível em: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semam/plano-municipal-de-saneamento-basico/> (acesso em 07 de Novembro de 2017).

SOUZA, S. O. VALE; C. C. Vulnerabilidade ambiental da planície costeira de Caravelas (BA) como subsídio ao ordenamento ambiental. **Soc. nat.**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 147-159, abr. 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198245132016000100147&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 01 maio 2019.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações. *In*: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2003, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte, Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35/doc/@sumario.htm>>. Acesso em: 01 maio 2019.

CAPÍTULO 2

2. GENERALIDADES

As cidades são protagonistas no processo de desenvolvimento global. Atualmente mais de 54% da população mundial reside em cidades e com previsão de alcançar a marca de 60% em 2030 (BENTO et al., 2018). Segundo dados do IBGE (2010) mais de 80% da população brasileira vive em cidades. Essa urbanização exacerbada teve início no século XX, a partir do processo de industrialização promovido pelos governos de Getúlio Vargas e Juscelino Kubitschek, que funcionou como principal contribuinte para o êxodo rural.

A urbanização é um processo necessário ao desenvolvimento e traz consigo benefícios, tais como, o crescimento econômico e uma maior geração de emprego e renda. Entretanto, devido a forma acelerada como se sucedeu esse processo, aliada a ausência de planejamento adequado, desencadearam inúmeros impactos negativos para a sociedade entre eles é possível citar: grande concentração populacional em pequenas áreas, aumento da periferia das cidades, ocupação de áreas propensas a risco desastre (UNISDR, 2010).

Com o crescimento de uma cidade, as áreas centrais vão se tornando mais disputadas, pois geralmente contam com melhores serviços como: comércio, escolas, transporte, entre outros. Os imóveis tornam-se mais caros e parte da população com menos condição econômica acaba por residir em regiões periféricas. As periferias na maioria das vezes são ocupadas de forma inadequada e apresentam condições precárias de sobrevivência.

Alguns fatores além da urbanização e suas falhas de planejamento também podem acentuar o aumento do número de desastres, como o crescimento populacional, o grande impacto das mudanças climáticas, a pobreza, a falta de gestão no ordenamento territorial e a degradação dos ecossistemas (FIOCRUZ, 2013)

Em virtude desses aspectos, naturais e sociais, nos dias de hoje, o número de pessoas vivendo em áreas vulneráveis tem aumentado e vem causando elevadas perdas materiais e com vítimas fatais. (CAMPOS, 1984; FERNANDES e AMARAL, 1996; GUIMARÃES, 2000; REDIVO et al, 2003). É estimado que cerca de 226 milhões de pessoas são afetadas por desastres, a cada ano em todo o mundo (FIOCRUZ, 2013).

Os dados do último censo (2010) revelam que no Brasil, aproximadamente 11,4 milhões de pessoas viviam em domicílios subnormais (assentamentos irregulares conhecidos como favelas, invasões e palafitas, entre outros), com infraestrutura deficiente e ocupando áreas

menos propícias à urbanização, como encostas íngremes, áreas de praia, vales profundos, baixadas permanentemente inundadas, manguezais e igarapés, resultando em maior vulnerabilidade aos desastres relacionados com fenômenos não naturais (FIOCRUZ, 2013).

Todas essas condições colocam a sociedade, ao mesmo tempo como sujeito exposto e agente causador do risco. Deste modo, faz-se importante controlar as formas de apropriação dos espaços naturais e seu processo de ocupação para evitar a formação das áreas propensas a risco (KORMANN, 2016).

2.1 RISCOS

A Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISRD na sigla em inglês) considera risco como sendo a combinação da probabilidade de determinado evento ocorrer e as suas prováveis consequências negativas (UNISRD, 2010).

“O risco se constrói socialmente e para entender como se dá essa construção é necessário compreender dois aspectos: de que forma a sociedade cria novas ameaças, por meio da intervenção nos ecossistemas e na transformação dos recursos em ameaças; e de que forma se constrói as vulnerabilidades que potencializam os impactos de determinados eventos físicos” (FILGUEIRA, 2013). Vargas (2002) definiu risco de desastre como a magnitude provável de dano a um ecossistema específico ou a alguns de seus componentes, em um período determinado ante a presença de uma atividade com potencial perigoso. O risco de desastre é convencionalmente expresso pela fórmula:

$$\text{Risco de desastre} = \text{Ameaça} \times \text{Vulnerabilidade}$$

A ameaça se caracteriza pelo evento ou fenômeno (natural ou incitado pelo homem) que provoca o desastre como, por exemplo, chuva intensa (BRASIL, 2006). Já a vulnerabilidade “é a tendência interna de um ecossistema ou de alguns de seus componentes de sofrer dano ante a presença de determinada força ou energia potencialmente destrutiva” (VARGAS, 2002). Dessa forma sabe-se que um fenômeno natural não causa desastres por si só. Existirão desastres, apenas se houver riscos e vulnerabilidades. Uma ameaça só ocorre quando associada à vulnerabilidade caso contrário não há danos ou prejuízos e, portanto, não consistirá em desastre, mas sim em um evento natural (Figura 2).



Figura 2 - Relação entre risco de desastre e vulnerabilidade.

Fonte: adaptado de UFSC (2011).

Observa-se pela Figura 2 que se houver uma intervenção na ameaça ou na vulnerabilidade o risco de desastre pode ser reduzido. Normalmente, não tem como alterar a magnitude das ameaças (principalmente em desastres de origem por fenômeno natural). Assim, para que ocorra a minimização dos riscos deve-se agir sobre as condições de vulnerabilidade. Nas inundações, por exemplo, não tem como agir na quantidade de chuvas ou ventos, logo para evitar esse tipo de desastres é necessário retirar a população das áreas ribeirinhas, colocando-as em regiões menos vulneráveis.

Os riscos podem ser aceitáveis, nível de perdas potenciais que uma sociedade considera aceitável; ou inaceitáveis, construções habitacionais em áreas vulneráveis como planícies de inundação.

Os riscos ambientais são divididos em riscos naturais e tecnológicos. Os tecnológicos são aqueles cuja origem está diretamente ligada à ação humana (risco de acidentes tecnológicos e riscos à saúde). Já os naturais são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e podem resultar em danos. Deve ser ressaltada a ação do homem como agente causador ou acelerador de processos naturais. Como exemplos podem ser citadas as inundações, que são fenômenos naturais, mas podem ter sua intensidade e frequência aumentadas por ações antrópicas como impermeabilização do solo e o desmatamento.

Para o Ministério das Cidades (BRASIL, 2004) considera-se como área vulnerável a risco uma região passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos, que causem efeito adverso. Ou seja, a ocupação de áreas naturalmente suscetíveis à ocorrência de processos de dinâmica superficial pode expor a população ao risco de desastres.

2.2 DESASTRES

Desastre é o resultado de processos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um sistema vulnerável, causando danos humanos, ambientais e/ou materiais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A ocorrência de um desastre é a materialização do risco, assim definido em função dos danos causados à sociedade, sendo desencadeado por eventos extremos associados a fenômenos naturais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em função de danos e prejuízos (BRASIL, 2007).

Com a intensificação das mudanças climáticas e a distribuição irregular da ocupação do espaço aumenta o risco e a intensidade dos impactos de desastres sentidos pelas comunidades pobres, principalmente nos países em desenvolvimento.

Os desastres podem ser classificados de acordo com a sua periodicidade; classificam-se em esporádicos, aqueles que acontecem raramente, ou cíclicos, os que ocorrem periodicamente. No que se refere a evolução, os desastres podem ser súbitos, que se caracterizam pela rápida velocidade com que o processo evolui, ou graduais, aqueles cujo o agravamento é progressivo. De acordo com Castro (1999) também podem ser classificados pela sua intensidade em: pequeno porte (nível I), média intensidade (nível II), grande intensidade (nível III) ou com impactos muito significativos (nível IV).

Acidente, desastre e catástrofe diferem-se pela escala ou magnitude do dano. A catástrofe possui dimensões mais amplas enquanto que acidente possui dimensões menores. Dauphiné (2005) propõe escalas para diferenciar os acidentes, desastres e catástrofes (Tabela 1).

Tabela 1 - Escala sintética para acidente, desastre e catástrofe

Perda Humana	Perdas Financeiras	Perdas Ecológicas	Nível	Exemplo
1	1 e 2	1 e 2	I	Acidente
2	1 a 4	1 a 4	II	Desastre
3 e 4	1 a 6	1 a 6	III	Catástrofe
5	2 a 6	2 a 7	IV	Catástrofe Maior
6 e 7	4 a 6	2 a 7	V	Supercatástrofe

Fonte: modificado por Almeida (2009) de Dauphiné (2005).

Os desastres ditos “naturais” estão intimamente relacionados com os processos de desenvolvimento humano e colocam em risco esse desenvolvimento. Com as transformações

e crescimento da sociedade contemporânea, o modelo global de desenvolvimento adotado, que vai desde a ocupação dos espaços urbanos, com os modos de vida da população, produzem vulnerabilidades sociais. Apesar da causa ser um fenômeno natural, os desastres são acentuados pelas condições geradas pela ocupação humana indevida no espaço, assim como a omissão do sistema competente e preventivo de gestão de riscos.

Os movimentos de massa constituem, juntamente com as enchentes, um dos desastres que apresenta o maior grau de recorrência em todo o mundo, sendo ambos causadores de danos e prejuízos às sociedades, particularmente em cidades densamente povoadas em zonas de relevo acidentado (RIFFEL, 2016).

2.2.1 BREVE HISTÓRICO DE DESASTRES

Em tempos mais remotos já tinham sido registradas em todo o globo grandes catástrofes que deixaram milhares de mortos e desabrigados. Na China, uma devastadora inundação em 1332 vitimou cerca de 7.000.000 de pessoas outras 10.000.000 pereceram, subsequentemente, por fome e doenças (BRYANT, 1997). Em 1755 ocorreu o famoso terremoto de Portugal, que atingiu 8,6 graus na escala Richter, vitimando cerca de 50.000 pessoas, por decorrência dos tremores de terra, do tsunami e dos incêndios que devastaram Lisboa. A cidade de Calcutá, Índia, também foi seriamente afetada por um ciclone em 1864 que, além do rastro de destruição e do enorme prejuízo, acarretou em 80.000 vítimas fatais (SPIGNESI, 2005).

Já recentemente outros desastres relacionados com fenômenos naturais impactaram severamente diversas regiões do globo. Considerando os eventos que vitimaram mais de 10 mil pessoas, destacam-se os terremotos registrados no Japão (1923), China (1976) e Irã (1978); as inundações na China (1931, 1935, 1959), Guatemala (1949), Bangladesh (1974) e Venezuela (1999); além dos ciclones tropicais na Índia (1935) e Honduras (1998). Por fim, e ainda bem presente na memória coletiva, a catástrofe ocasionada pelo tsunami de 26 de dezembro de 2004, que atingiu várias nações banhadas pelo Oceano Índico, entre as quais Indonésia, sul da Índia e Sri Lanka, que deixou mais de 170.000 mortos, 50.000 desaparecidos, 1.723.000 desalojados e 500.000 desabrigados. (KOBİYAMA et al., 2006).

Na América do Sul as inundações, muito recorrentes em todos os países desse continente, são consideradas como uma ameaça predominante ou de maior impacto para a Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador e Peru (KHAMIS; OSORIO, 2013).

No Brasil segundo Victor (2015) em 2014 e até meados de 2015, foram contabilizados 3.808 desastres efetivamente reconhecidos, envolvendo um total de 3021 municípios. Os desastres mais frequentes reportam-se aqueles que integram o chamado grupo climatológico (por exemplo, seca e estiagem), que respondem por 48% dos registros e se concentram no Nordeste e no Sul do país, ou ainda os do grupo hidrológico (relacionados ao excesso de chuvas, como enchentes), para os quais se estima 39% do total e que ocorrem principalmente no Sudeste brasileiro (UNISRD, 2010).

Um outro evento nacional, que cabe ser destacado aconteceu em novembro de 2015. Trata-se do rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG, que afetou em grande parte, o Rio Doce, causando prejuízo a mais de 200 municípios de vários estados brasileiros. A barragem de Fundão, de propriedade da Samarco Mineração, uma empresa constituída pela Vale SA, rompeu-se, no subdistrito de Bento Rodrigues, em Mariana/MG, no sudeste brasileiro, vitimando 19 pessoas, destruindo a comunidade em seu entorno e provocando danos ambientais incalculáveis (BUENO, 2018).

Na região Nordeste, o estado de Pernambuco, em especial a Região Metropolitana do Recife, experimenta elevados índices de perdas de vidas e danos econômicos e ambientais provocados pelos deslizamentos de encostas. Decorrentes de fatores como, a forma inadequada de ocupação das encostas, associados aos condicionantes naturais (chuvas, litologia, declividade, forma da encosta, etc.), o acúmulo de lixo e a inexistência de infraestrutura adequada, condições que intensificam ao longo dos anos os processos erosivos e, conseqüentemente, os movimentos de massa em áreas ocupadas (COUTINHO; SILVA, 2005).

Para a área de estudo deste trabalho, a cidade de João Pessoa, demonstra que os desastres relacionados com fenômenos naturais mais impactantes para sua região são as inundações, deslizamentos e erosões costeiras. Segundo o Relatório de Avaliação Ambiental (RAA) da Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), tem-se que os fluxos de inundação excedem as previsões de volume de água que a infraestrutura de drenagem suporta, tanto nas áreas ocupadas como na maioria das obras de drenagem de estradas (PARAÍBA, 2017).

Apesar do fato da humanidade enfrentar essas adversidades não ser novo e esses acontecimentos estarem frequentemente presentes no desenvolvimento histórico da sociedade, a reação preventiva para os desastres já remete a processos mais recentes.

2.3 DEFESA CIVIL

A Defesa Civil é responsável pela gestão do risco a desastres no Brasil. Foi instituída como Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) em 16 de dezembro de 1988, com o Decreto Nº 97.274. Durante o seu desenvolvimento essa instituição, vem conferindo importância à proteção da sociedade contra os riscos associados à ocorrência de desastres e a atividades de resposta aos desastres concretizados.

A Defesa Civil com suas atribuições atuais surgiu segundo o Decreto nº 7.257, de 4 de Agosto de 2010, como o conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e recuperativas destinadas a evitar desastres, minimizar seus impactos para a população e restabelecer o cotidiano social. O órgão defesa civil corresponde como parte de um dispositivo de segurança criado pela preocupação com eventuais questões climáticas que pudessem assolar a população. A partir de 11 de abril de 2012, com aprovação da Lei Nº 12.608, esse sistema passou a ser denominado como Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC).

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) é o órgão central, que coordena projetos e ações, e está dividida em três departamentos: o Departamento de Articulação e Gestão, que analisa os processos, formaliza convênios, contratos, etc.; o Departamento de Minimização de Desastres que desenvolve projetos de prevenção e preparação dos desastres; e o Departamento de Reabilitação e de Reconstrução que realiza atividades de resposta e reconstrução dos desastres (Figura 3).



Figura 3 - Organograma da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC).

Fonte: Brasil (2012).

A atuação da Defesa Civil, para “administração” dos desastres, compreende cinco ações que são divididas em três fases: Pré-Desastre, Desastre e Pós-Desastre. A primeira fase configura-se antes da ocorrência do fato gerador; a segunda está relacionada a ações de emergência; já a terceira se refere à fase de reconstrução, posterior ao desastre.

A fase de pré-desastre compreende três ações, que são: prevenção, que visa evitar por completo que o desastre aconteça (normalmente são representadas por medidas estruturais); mitigação, que visa diminuir a intensidade dos impactos adversos; e preparação, que procura melhorar a capacidade da comunidade frente aos desastres (são empregadas medidas não estruturais).

A fase do desastre compreende a ação de resposta, que visa socorrer e auxiliar as pessoas atingidas prestando serviços de emergência e assistência pública durante ou logo após um desastre. Tem por objetivo também reduzir os danos e prejuízos, além garantir o reestabelecimento do funcionamento dos sistemas de serviços essenciais da comunidade.

Para atuar na fase de desastre vários municípios do Brasil contam, além das Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil (COMPDECs), com os Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDECs), formados por grupos de voluntários que recebem capacitação de primeiros socorros, prevenção e combate a incêndios, percepção de riscos

geológicos, sistema de alerta e alarme e gestão de voluntariado. Esses voluntários dos NUDECs são os próprios moradores das comunidades vulneráveis e são os primeiros a responderem aos desastres, logo, desempenham um importante papel no Sistema de Nacional de Proteção e Defesa Civil. Além disso, o objetivo geral do NUDEC é envolver as comunidades situadas em áreas propensas a risco de desastres no processo de reflexão sobre a realidade do risco, incentivando a construção de uma consciência coletiva acerca da preservação do meio ambiente local, sobre a ótica de minimização dos desastres. Apesar de estar previsto na Nº Lei 12.608/2012 o incentivo para a sua criação, no município de João Pessoa ainda não existe nem um NUDEC implantado. Além disso a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), em seu art. 8º, estabelece para os municípios as seguintes competências, entre outras:

- a) incorporar as ações de proteção e defesa civil no planejamento municipal;
- b) identificar e mapear as áreas vulneráveis a risco de desastres;
- c) promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas.

Essa política preconiza a sua integração às práticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais. Têm como diretrizes a atuação articulada entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios para redução de desastres, dando prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres.

A fase de pós-desastre refere-se à ação de reconstrução que inicia após a finalização da fase de emergência e abrange um conjunto de ações destinadas a reconstruir a comunidade atingida. Após a calamidade ter ocorrido, a fase de resposta corresponde aos serviços de emergência e assistência pública, fixando-se dois elementos essenciais, a velocidade e a flexibilidade. Busca-se nessa fase desenvolver e executar medidas para minimização de novos desastres.

É possível medir o grau de desenvolvimento de uma determinada cidade, estado ou país pela fase de reconstrução dos desastres. Quanto mais rápido a região atingida se reconstrói mais desenvolvido é o país, o que muito se assemelha ao conceito de resiliência, que consiste na capacidade da sociedade de suportar efeitos adversos.

O nível de preparação da Defesa Civil municipal determinará o seu comportamento diante de um desastre, ou seja, o quanto o município terá condições de abrigar, agasalhar e

alimentar a população atingida, se será capaz de mobilizar a melhor força de trabalho no menor tempo, se terá agilidade para pedir auxílio externo e se saberá a quem recorrer (LONDE et al., 2015).

2.4 REFERÊNCIAS

BENTO, S. C. et al. As novas diretrizes e a importância do planejamento urbano para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. **Rev. Gest. Ambient. Sustentabilidade**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 469-488, 2018.

BUENO, W. C. Gestão da comunicação em desastres ambientais: conflitos de interesse, de práticas e de discursos. **Revista Observatório**, Palmas, v. 4, n. 2, p. 539-569, 2018.

BRASIL. Decreto nº 97.274, de 16 de dezembro de 1988. Dispõe sobre a organização do Sistema Nacional da Defesa Civil - SINDEC e dá outras providências. (1988). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D97274.htm. Acesso em: 2 mai. 2019.

BRASIL. Decreto nº 7.257, de 4 de agosto de 2010. Regulamenta a Medida Provisória nº 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, e dá outras providências. (2010). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7257.htm#art17. Acesso em: 2 mai. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; e dá outras providências. (2012). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 2 mai. 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações. Apostila de treinamento**. 2004. 73p.

BRASIL. Ministério das Cidades, Secretaria de Programas Urbanos. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco**. Ministério das Cidades, Universidade Federal de Santa Catarina/Centro de Estudos e Pesquisa sobre Desastres, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2006. 122p.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176p.

BRYANT, E. A. Climate process and change. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, 209 p.

CAMPOS, L. E. P. **Influência na sucção na estabilidade de taludes naturais em solos residuais**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 173p. 1984.

CASTRO, A. L. C de. **Introdução à Doutrina de Defesa Civil**. In: CASTRO, A. L. C de. Manual de Planejamento em Defesa Civil. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 1999. p. 1-69. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf>> . Acesso em: 1 mai. 2019.

FIOCRUZ. Centro de Estudos e Pesquisas em emergências e desastres em saúde (CEPEDES). O mundo hoje e os desastres. Disponível em: <http://andromeda.ensp.fiocruz.br/desastres/content/o-mundo-hoje-e-os-desastres>. Acesso em: 10 mai. 2019.

COUTINHO, R. Q.; SILVA, M. M. **Classificação e Mecanismos de Movimentos de Massa**. In: Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas - COBRAE, Salvador, Brasil. Volume Pós-congresso. 50 p., 2005.

DAUPHINÉ, A. **Risques et catastrophes**. Observer, spatialiser, comprendre, gérer. Paris: Armand Colin, 2005.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: Uma abordagem Geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B., Geomorfologia e Meio Ambiente. Ed. Bertrand, Rio de Janeiro - RJ, p. 123 – 194, 1996.

FILGUEIRA, H. J. A. **Os desastres relacionados com fenômenos naturais no contexto dos sistemas organizacionais**. In: GARCIA, J. P. M. (Org.). Desastres na Paraíba: riscos, vulnerabilidade e resiliência. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013. p. 53 -63.

GUIMARÃES, R. F. **Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: Adequação e calibração em duas bacias de drenagem**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 150p. 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. **Taxa de urbanização**. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>> . Acesso em 10 de julho de 2018.

KHAMIS, M.; OSORIO, C. **América del Sur: Uma visión regional de la situación de riesgo de desastres. Ayuda Humanitaria y Protección Civil**, Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. 2013, 123p.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais - conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

KORMANN, T. C. et al. Ocupação das encostas e a formação das áreas de risco a movimentos de massa em Blumenau-SC. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 28, p. 269-290, 2016.

LONDE, L. R.; SORIANO, E.; COUTINHO, M. P. Capacidades das instituições municipais de proteção e defesa civil no Brasil: desafios e perspectivas. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 30, p. 77-95, 2015.

PARAÍBA. Prefeitura Municipal de João Pessoa. **Relatório de Avaliação Ambiental**. São Paulo: Programa de desenvolvimento urbano integrado e sustentável do município de João Pessoa, 2017, 271 p.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F. **Aplicação do modelo SHALSTAB para determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na região do subúrbio ferroviário – Salvador (BA)**. In: RE GEO, Porto Alegre - RS. CdRom. 2003.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L. A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. **Bol. Goia. Geogr**, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-306, 2016.

SPIGNESI, S. J. **As 100 maiores catástrofes da história**. Rio de Janeiro: DIFEL, 2005. 496p.

UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Construindo cidades resilientes: minha cidade está se preparando. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil/Departamento de Minimização de Desastres, [2010]. (Versão em português produzida por Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil/Departamento de Minimização de Desastres, Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Tecnológico da UFSC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, CEPED), 2011.

VARGAS, J. E. Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales. Santiago de Chile: Naciones Unidas, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, CEPAL – Serie Medio ambiente e desarrollo, 50, 2002.

VICTOR, C. Comunicação de riscos de desastres no contexto das mudanças climáticas: muito além do jornalismo. *In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação*, 2015, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, Disponível em: <<http://portalintercom.org.br/anais/nacional2015/resumos/R10-3693-1.pdf>>. Acesso em 10 maio 2019.

CAPÍTULO 3

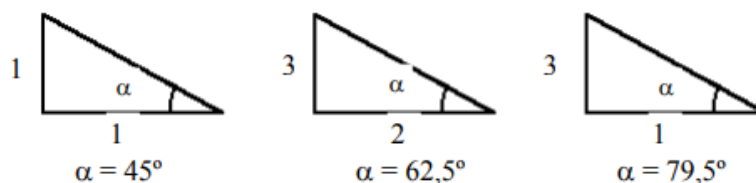
3. ESTABILIDADE DE TALUDES

Talude ou encosta é toda superfície de solo exposta e inclinada que une duas ou mais superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais. Podem ser classificados em naturais ou artificiais. Os naturais são maciços terrosos, rochosos ou mistos de solos e rochas, originados por agentes naturais, mesmo que tenham sofrido alguma alteração antrópica, tais como, desmatamentos, cortes e a introdução de cargas. Já os taludes artificiais, são declives de aterros a partir de vários materiais em estrutura conhecida e exibem uma homogeneidade mais acentuada que os naturais, que só têm sua estrutura particular conhecida através de criterioso processo de prospecção (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

As principais causas que estão associadas ao colapso dos maciços terrosos podem advir de fatores externos ou internos. No exterior podemos citar o aumento da inclinação, aplicação de carregamentos e efeitos sísmicos, já para causas internas, temos a liquefação espontânea, aumento da poropressão, decréscimo da coesão.

O ângulo (α) formado entre a superfície da encosta e a horizontal de sua base, está condicionado as medidas da sua base e sua altura, que para a engenharia segue algumas proporções prefixadas com intuito de evitar inclinações muito elevadas que desfavoreçam a segurança (Figura 4), todavia, apenas esta condição não é suficiente para garantir a estabilidade do talude.

*Cortes * Condição melhor de estabilidade*



*Aterros * Condição pior de estabilidade*

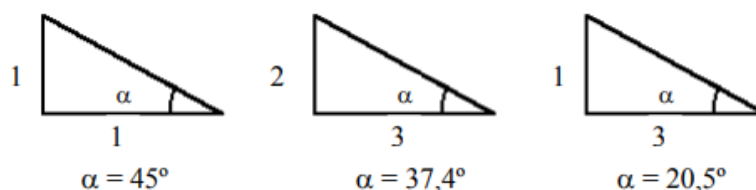


Figura 4 - Inclinação padrão utilizada em taludes construídos.

Fonte: Marangon (2006).

Revestir o talude com vegetação, telas, argamassa ou concreto jateado é uma importante utilização para evitar a erosão superficial, ou seja, a perda de material do maciço, sendo considerada uma técnica de prevenção. A drenagem também constitui-se uma importante instalação de proteção as encostas, a instalação de canaletas objetiva capturar e escoar águas pluviais a fim de diminuir a sua infiltração, enquanto os drenos contribuem para baixar o nível freático, reduzindo assim, as pressões neutras (MASSAD, 2010; CAPUTO, 2003).

Para conferir resistência a um talude também pode-se fazer uso das estruturas de contenção, como muros de gravidade e obras de estabilização de blocos de rocha. Ressalta-se que a escolha adequada do tipo de obra implica uma correta avaliação das características do meio físico e dos processos de instabilização envolvidos, pois cada obra tem eficiência restrita para certas condições e faixas de solicitação. Além disso, as obras devem ser dimensionadas adequadamente a sua solicitação (MARANGON, 2006).

Muitos dos recentes desastres que vem ocorrendo no país e no mundo estão associados a deslizamentos de terra e rompimento de barragens. Destacando-se, assim a importância da análise da estabilidade de taludes através dos métodos disponíveis. Seja por fatores geológicos, ambientais ou por interferência humana essas superfícies tendem a ruir, entretanto a análise de sua estabilidade por variáveis conhecidas pelas quais se pode prever e conseqüentemente minimizar o risco de colapso.

3.1 EQUILÍBRIO LIMITE

Os métodos para análise da estabilidade de taludes, atualmente em uso, baseiam-se na hipótese de haver equilíbrio numa massa de solo, tomada como corpo rígido-plástico, na iminência de entrar em um processo de escorregamento. Daí a denominação geral de “métodos de equilíbrio limite” (MASSAD, 2010). Desse modo, compreendemos que o maciço para se manter estável deve apresentar características (granulometria, massa específica, coesão e ângulo de atrito interno) que lhe confirmem resistência capaz de anular as tensões de cisalhamento atuantes que tendem a provocar falha ou deslizamento.

De acordo com Silva (2011), a Teoria de Equilíbrio Limite é a filosofia de cálculo base dos métodos de equilíbrio limite conhecidos na bibliografia. É utilizada para determinar o

equilíbrio de uma massa de solo, cuja ruptura ocorre ao longo de uma superfície plana, circular, poligonal ou mista, que pode passar acima ou abaixo do pé do talude (Figura 5).

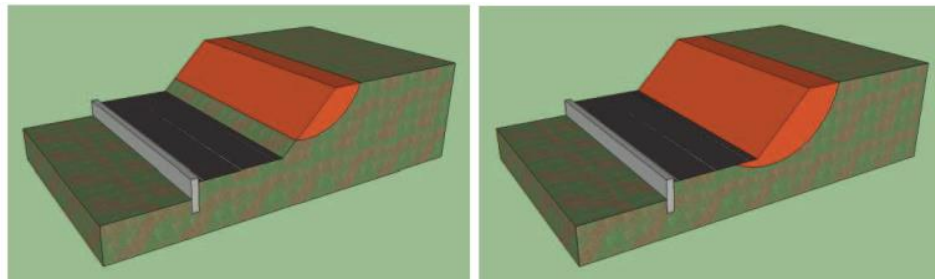


Figura 5 - Superfície de ruptura abaixo e acima do pé do talude.

Fonte: Silva (2011).

Alguns parâmetros devem ser observados na análise do equilíbrio limite, como a geometria do talude, sua geologia estrutural, a presença de água subterrânea e suas condições de drenagem, são alguns deles. A aplicação do método do equilíbrio limite está condicionado para a análise estática, não sendo indicado quando há forte presença de, deformações e deslocamentos progressivos, fluxos, etc. Devido a complexidades desses casos não é possível realizar uma análise muito realista. De acordo com Massad (2010), os métodos do equilíbrio limite partem dos seguintes pressupostos:

- a) O solo se comporta como material rígido-plástico, isto é, rompe-se bruscamente, sem deformar;
- b) As equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência da ruptura, quando, na realidade, o processo é dinâmico;
- c) O coeficiente de segurança (FS) é constante ao longo da linha de ruptura, isto é, ignoram-se eventuais fenômenos de ruptura progressiva.

3.2 FATOR DE SEGURANÇA (FS)

O método do equilíbrio limite possibilita a determinação do chamado Fator de Segurança (FS). O mesmo busca comparar a estabilidade de taludes em condições diferentes de equilíbrio-limite, assim, define-se o FS como a resultante das forças solicitantes e resistentes ao escorregamento (GUIDICINE; NIEBLE, 1976; LAIRD, 2001).

Segundo Guidicine e Nieble (1976) a estabilidade de taludes se baseia na relação entre dois tipos de forças, as estabilizantes, resistentes ao cisalhamento do solo (r) e as instabilizantes, tensão cisalhante atuante (s) ou decorrentes do peso da massa de solo. A

razão entre essas duas forças é chamada de fator de segurança, com uso de fórmula apropriada (Equação 1).

$$FS = \frac{\Sigma \text{Esforços estabilizantes (r)}}{\Sigma \text{Esforços instabilizantes (s)}} \quad \text{Equação (1)}$$

A ruptura de um talude é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento, também chamada superfície de falha ou deslizamento, na qual em todos os pontos de sua extensão tem o valor de FS igual. Essa massa de solo acima da superfície de deslizamento é considerada como um corpo livre.

A Figura 6 ajuda a entender melhor estes três conceitos: as forças que impelem ao escorregamento, representadas pelas setas a azul, as forças que se opõem ao movimento, representadas pelas setas a vermelho, atuando em torno da superfície cisalhante ou superfície de deslizamento.

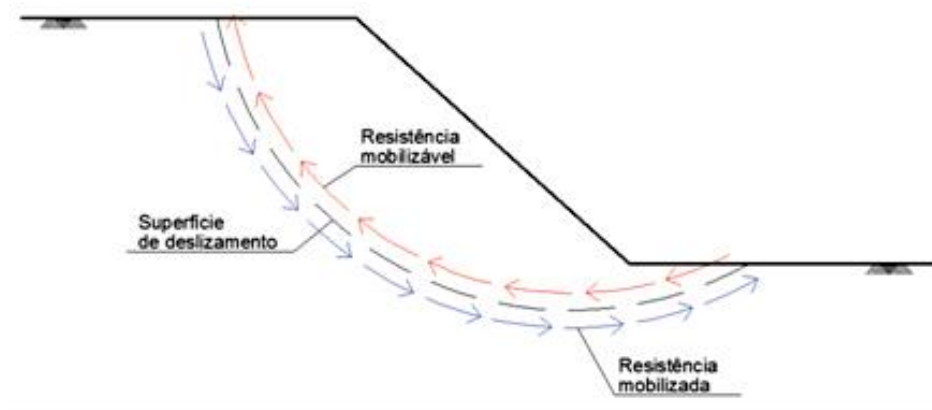


Figura 6 - Representação dos esforços atuantes em um talude.

Fonte: Silva (2009).

O fator de segurança pode ser calculado para identificar áreas suscetíveis a deslizamento de terra. De acordo com a NBR 11.682/91 um fator de segurança menor ou igual a 1 indica a ruptura dos maciços, sendo considerado seguro o talude quando apresenta fator de segurança maior que 1.5 como exposto na Tabela 2 (ABNT, 1991). Entretanto, vale ressaltar que o fator de segurança pode variar com o tempo, visto que um mesmo talude pode apresentar condições de estabilidade diferentes dependendo da situação ao qual foi exposto. Por exemplo, em períodos chuvosos a água pode infiltrar no maciço, diminuindo sua

resistência ao cisalhamento e aumentado as pressões intersticiais dos grãos (poro-pressão), alterando assim as condições de estabilidade do talude.

Tabela 2 - Definição das classes de estabilidade baseada nos valores de FS

Condição	Classe	Estágio de Predição
$FS > 1,50$	5	Área sem risco
$1,30 < FS < 1,50$	4	Área de risco baixo
$1,15 < FS < 1,30$	3	Área de risco médio
$1,00 < FS < 1,15$	2	Área de risco alto
$FS < 1,00$	1	Área na iminência de escorregamento

Fonte: adaptada de Amaral e Fiori (2004).

3.3 MÉTODOS DAS FATIAS (LAMELAS)

Teoria de Equilíbrio Limite (Tabela 3) é aplicada a vários tipos de análise de estabilidade que são comumente realizados pela aplicação de um dos três seguintes métodos (Gomes, 2011):

- Método do círculo de atrito – as condições de equilíbrio são aplicadas a toda a massa de solo potencialmente instável, cujo comportamento se admite ser o de um corpo rígido;
- Método Sueco – a massa de solo potencialmente instável é dividida em fatias, geralmente verticais, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada uma das fatias isoladamente;
- Método das cunhas – a massa de solo potencialmente instável, dada a sua configuração e características resistentes, é dividida em cunhas, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada zona isoladamente.

Tabela 3 - Métodos que utilizam o princípio do equilíbrio limite

Métodos do equilíbrio - limite	Método do círculo de atrito	
	Método Sueco (Lamelas)	Método de Fellenius
		Método de Bishop Simplificado
		Método de Morgenstern- Price
	Método das cunhas	

Fonte: Massad (2010).

Para tornar possível a resolução pelas equações da estática pelo método das lamelas, uma das simplificações adotadas consistiu em assumir que o esforço normal na base atua no ponto central da fatia, o que será razoável se ela for de largura infinitesimal. Assim pode-se reduzir o número de incógnitas (Figura 7).

No método Sueco as análises são feitas através do estudo da superfície de falha, pela divisão do material deslizante em fatias, chamadas de lamelas. Os métodos, Bishop Simplificado, Morgenstern-Price e Fellenius se desenvolveram ao longo do tempo estudando a interação das fatias, com maior ou menor grau de precisão, em função do nível de simplificação dos esforços. Para efeitos de cálculo considera-se o equilíbrio estático e faz-se o somatório dos momentos igual a zero.

O momento das forças atuantes é dado por:

$$\Sigma (P \cdot R \cdot \sin \theta) \quad \text{Equação (2)}$$

E o momento das forças resistentes:

$$\Sigma (T \cdot R) \quad \text{Equação (3)}$$

Igualando os momentos atuantes e resistentes, tem-se:

$$\Sigma (P \cdot R \cdot \sin \theta) = \Sigma (T \cdot R) \quad \text{Equação (4)}$$

$$\text{Como } R \text{ é constante e } T = \frac{1}{F} \cdot (c'l + N \cdot \text{tg} \emptyset') \text{ logo,} \quad \text{Equação (5)}$$

$$FS = \frac{\Sigma c'l + N \cdot \text{tg} \emptyset'}{\Sigma (P \cdot \sin \theta)} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

- c' - coesão (kPa)
- l - largura da fatia [m];
- N - tensão normal mobilizada na base das fatias [kN/m];
- \emptyset - ângulo formado entre a direção da tensão normal e a vertical.
- P - peso próprio da fatia [kN];
- θ - inclinação da resultante das forças de interação [°]

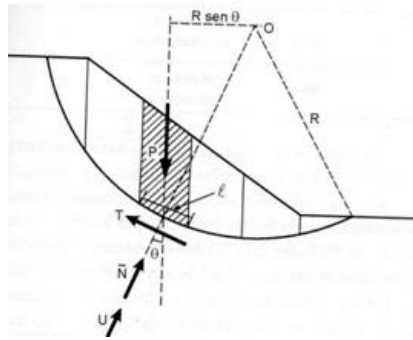


Figura 7 - Ilustração dos parâmetros descritos, através da análise de uma fatia.

Fonte: Massad (2003).

3.3.1 MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

Foi desenvolvido inicialmente para análise de superfícies circulares, mas a sua aplicação também é válida para superfícies não circulares, dividindo a massa deslizante em lamelas, considera a resultante das forças interlamelares horizontal e as forças cisalhantes entre lamelas como nulas (Figura 8).

Os bons resultados de FS que este método fornece para determinado tipo de análises motivaram o seu estudo mais aprofundado. Zhu (2008) mostra que o fato de as forças de corte entre fatias não aparecerem na equação do fator de segurança não quer dizer que sejam zero, mas sim que um dos termos dessa equação seja zero. Para que isso ocorra é necessário se assumir uma distribuição adequada das forças de corte verticais entre fatias que satisfaça, também o equilíbrio de forças horizontais. Daí a sua precisão quando comparado com outros métodos. A reação normal na base é obtida através do equilíbrio de forças segundo a direção vertical.

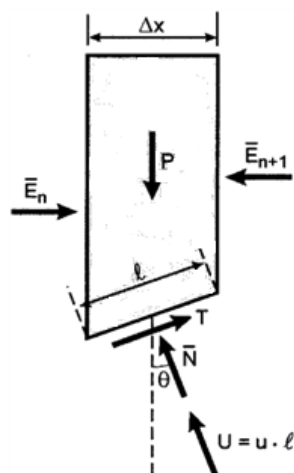


Figura 8 - Parâmetros da equação de Bishop simplificado, representação para uma lamela.

Fonte: Massad (2010).

$$FS = \frac{\Sigma c' l + N . tg \phi'}{\Sigma (P . sen \theta)} \quad \text{Equação (7)}$$

Segundo Silva (2011), o método de Bishop simplificado, possui um erro associado a esses métodos mais rigorosos e precisos, no valor máximo de 7%, sendo, na maioria dos casos inferior a 2%, por isso tornou-se um dos mais utilizados.

3.3.2 MÉTODO DE MORGENSTERN-PRICE

Nesse método se considera uma superfície de ruptura qualquer, a direção da resultante das forças interlamelares é determinada pelo uso de uma função arbitrada, onde λ é um fator da função que deve satisfazer o equilíbrio de forças e momentos, sendo as lamelas de espessura finita. As forças de interação são, neste caso, controladas por uma função $f(x)$ multiplicada por um fator λ , que deve ser especificada previamente. Essa função determina a inclinação das forças entre fatias.

Por se tratar de um processo iterativo com cálculos complexos e muito extensos, emprega-se o uso de softwares computacionais que sejam capazes de efetuá-los.

3.3.3 MÉTODO DE FELLENIUS

Para este trabalho o coeficiente de segurança será calculado pelo método sueco de Fellenius, o qual considera uma superfície de ruptura circular, divide o material deslizante em lamelas desconsiderando as forças entre as lamelas (Figura 9).

Em 1936, Fellenius introduziu o primeiro método para uma superfície de deslizamento circular, também conhecido por Método Sueco. É o mais simples de todos, pois é o único que estabelece uma equação linear para determinação do fator de segurança, não sendo, por isso, necessário qualquer processo iterativo. Assume que as forças de interação entre fatias são paralelas à base das mesmas, o que, dessa forma, permite dispensá-las do cálculo (SILVA, 2011).

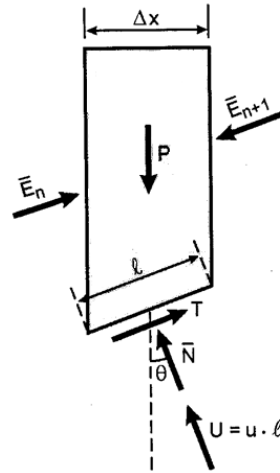


Figura 9 - Forças atuantes em uma fatia pelo método de Fellenius.

Fonte: Massad (2010).

Faz-se o equilíbrio de forças em cada fatia na direção normal à superfície de ruptura. Com isso, obtém-se:

O momento resistente será:

$$MR = S.R = \text{Equação (8)}$$

$$R \sum_{i=1}^N \Delta x (c' + \sigma \cdot \text{tg} \phi') = \text{Equação (9)}$$

$$R \sum_{i=1}^N (c' \cdot \Delta x + N \cdot \text{tg} \phi') = \text{Equação (10)}$$

O equilíbrio na direção da lamela fornece:

$$N' = N + U = P \cdot \cos \phi = \text{Equação (11)}$$

$$N = P \cdot \cos \phi \cdot \mu \cdot \Delta x \cdot \sec \phi = \text{Equação (12)}$$

Assim, temos como obter o FS:

$$FS = \frac{\sum (c' \cdot \ell + (P \cdot \cos \phi - U) \cdot \text{tg} \phi)}{\sum (P \cdot \sin \phi)} = \text{Equação (13)}$$

Onde:

- U = resultante das pressões neutras;
- c' - coesão (kPa);

- l - largura da fatia [m];
- N - tensão normal mobilizada na base das fatias [kN/m];
- \emptyset - ângulo formado entre a direção da tensão normal e a vertical.
- P - peso próprio da fatia [kN];
- θ - inclinação da resultante das forças de interação [°]

Atendendo à hipótese das forças de interação terem uma resultante nula, o equilíbrio na direção paralela à base de cada fatia não é satisfeito. Assim é fácil inferir que o fator de segurança se encontra subestimado (FREITAS, 2011).

3.4 REFERÊNCIAS

AMARAL, C.; FIORI, A. P. Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruã, nas Proximidades do Falso Túnel. *In*: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos – SP, **Anais...** São Carlos, p. 164 – 172. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11682**: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2003, 244p.

FREITAS, M. A. C. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Morgenstern-Price e Correia**. Dissertação (Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 178p. 2011.

GOMES, R. C. **Aula 1 – Taludes e movimentos de massa**. 2011. Disponível em: http://www.academia.edu/22551221/Aula_1_Taludes_e_Movimentos_de_Massa_CIV_247_OBRAS_DE_TERRA_Prof._Romero_C%C3%A9sar_Gomes. Acesso em 04 mai. 2019.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1983, 170p.

LAIRD, J. R. (2001) The Current State of Engineering Geology, Slope Stability and Harvest Units Plans. *In*: The International Mountain Logging and 11º Pacific Skyline Symposium, 2004, Seattle – USA. **Anais...** Seattle, Disponível em: <http://depts.washington.edu/sky2001/proceedings/papers/Laird.pdf>. Acesso em 4 de fevereiro de 2019.

MASSAD, F. **Obras da terra: curso básico de geotecnia/** Façal Massad. São Paulo: Oficina de textos, 2003, 216p.

MARANGON, Márcio. **Notas de aula: Tópicos em Geotecnia e Obras de terra.** UFJF, 2006. Disponível em: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid03-GeoContencoesParte01-2006-2.pdf. Acesso em: 20/04/2019.

SILVA, J. P. M. **Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 149 p. 2011.

ZHU, D.Y. **Investigations on the accuracy of the simplified Bishop method. Landslides and Engineered Slopes,** Chen et al. (eds.), pp. 1055-1057, Taylor & Francis Group, London, 2008.

CAPÍTULO 4

4. MOVIMENTOS DE MASSA

4.1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa fazem parte da dinâmica da paisagem da Terra. São um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela capacidade de mudar e modelar as formas do relevo, principalmente em áreas com relevo acidentado e regiões montanhosas. (GUIMARÃES et al., 2003; VANACÔR, 2006). Esses movimentos podem ocorrer por resultado de agentes do intemperismo ou, principalmente por elevados volumes de precipitação pluviométrica e/ou terremotos.

Esse fenômeno natural de dinâmica externa vem fazendo um grande número de vítimas fatais. Associado ao risco de morte, há o problema ambiental, que é gerado pela remoção do solo, e o favorecimento da erosão. Dessa forma, frequentemente se têm associados aos deslizamentos, além das lesões e fatalidades, os prejuízos econômicos e ambientais, os danos materiais e a manutenção de alto custo (DAS et al., 2010).

É um fenômeno preocupante e que vem despertando cada vez mais o interesse da comunidade científica. Em território brasileiro há inúmeras áreas urbanas, inseridas em condições ambientais que demonstram alto grau de fragilidade, com solo exposto, declives acentuados, índices pluviométricos elevados, entre outras características consideradas como agravantes (PINTO, 2015).

Sabe-se que a bibliografia existente referente a esse tema é extensa e complexa, onde vários autores vêm propondo diferentes classificações, dentre os brasileiros destacam-se Vargas e Pichler (1957), Freire (1965) e dentre os internacionais: Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Varnes (1978), Hasegawa (1985), Sassa (1985), Hutchinson (1988) e Gorbushina (1998). No presente capítulo serão apresentadas, de forma resumida, as definições e classificações mais relevantes utilizadas na literatura relativas aos movimentos de massa.

4.2 DEFINIÇÃO

Se considerarmos um talude qualquer e impormos a ele algumas condições específicas (carregamentos excessivos, vibrações, infiltração de água, entre outros agentes erosivos), parte daquele material que se encontra em uma situação mais desfavorável aos

efeitos da gravidade pode se desestabilizar e, consequentemente, deslocar-se desencadeando um processo conhecido como movimento de massa. Os movimentos de massa também são denominados como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros (CEMADEN, 2019).

Sharpe (1938) definiu deslizamento como a queda perceptível ou movimento descendente de uma massa relativamente seca de solo, rocha ou ambas. Segundo Hutchinson (1968), os movimentos de massa são processos que envolvem o transporte de matéria sólida da dinâmica superficial da Terra, e que podem ser subdivididos em dois tipos: movimentos gravitacionais de massa, provocados pela aceleração da gravidade, e movimentos de transporte de massa, nos quais ocorre o transporte do material sólido por um meio qualquer tal como a água, gelo ou o ar.

Bigarella (2003), compreende o movimento de massa como um fenômeno ou processo natural que engloba uma gama de tipologias de eventos associados à mobilização de material na vertente sobre a ação da gravidade. Gerscovich (2016), define movimento de massa qualquer deslocamento de um determinado volume de solo pela ação da gravidade.

4.3 CLASSIFICAÇÃO

Os movimentos de massas podem ser classificados em função da geometria da superfície de ruptura, da cinemática do movimento, da velocidade, o tipo de material envolvido e quantidade de água presente (PACHECO, 2006). Principalmente os mecanismos de movimento como, velocidade, direção, recorrência dos movimentos e geometria da massa movimentada são os critérios utilizados nas classificações de movimento de massa (VANACÔR, 2006).

A primeira classificação reconhecida mundialmente foi desenvolvida por Sharpe (1938), mostrada na Tabela 4. Nessa classificação ele se baseou em fatores como natureza e velocidade do movimento, quantidade de água e gelo atuantes no processo e também o tipo de material.

Tabela 4 - Classificação de Sharpe para movimentos de massa e fenômenos associados

Natureza e Taxa do Movimento			Com aumento do conteúdo de gelo	Rocha ou solo	Com aumento do conteúdo de água	
Corridas	Imperceptível	Transporte glacial	Solifluxão ↓	Rastejo (solo ou rocha) ↓	Solifluxão ↓	Transporte fluvial
	Lento a rápido		Avalanche de detritos		Fluxo de terra Fluxo de lama Avalanche de detritos	
Escorregamento	Lento a rápido		↓	Escorregamento Escorregamento de detritos Queda de detritos Escorregamento de rocha Queda de rocha	↓	

Fonte: Sharpe (1938).

A solifluxão é um tipo de movimento de arraste lento, onde geralmente se tem a presença de água e pouca deformação ao longo do tempo. Entretanto, quando se dá em grandes proporções pode ocasionar avalanches de detritos e em velocidade mais rápida. É mais comum em regiões frias onde ocorre gelo e degelo da água presente no maciço.

A classificação proposta por Varnes (1978) é a mais utilizada em todo o mundo e é considerada a oficial segundo a associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG). Fundamenta-se principalmente no tipo de material e taxa de movimentação, além disso baseia-se na geometria da área de ruptura e do depósito resultante, idade, causa, grau de ruptura da massa deslocada, relação ou não da geometria do deslizamento com as estruturas geológicas, localização geográfica dos exemplos tipo e seu estado de atividade (Tabela 5).

Tabela 5 - Tipos de movimentos de massa

Tipo de Movimento			Tipo de material		
			Substrato rochoso	Solos para engenharia civil	
				grossos	Finos
Escorrega- mentos	Quedas		de rochas	de detritos	de solos
	Tombamentos		de rochas	de detritos	de solos
	rotacional	poucas unidades	deslizamento de rochas	deslizamento de detritos	deslizamento de solos
			de blocos rochosos	de blocos detritos	de blocos solo
	translacional	muitas unidades	de rochas	de detritos	de solo
Espalhamentos laterais		de rochas	de detritos	de solo	
Escoamentos		de rochas (deep cree)	de detritos	de solo	
Complexos			Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Fonte: Varnes (1978).

De acordo com os tipos de movimento propostos por Varnes (1978), os fluxos de detritos geralmente apresentam velocidades muito rápidas, e este parâmetro é muito importante, pois se relaciona diretamente com a intensidade de perigo.

A classificação proposta por Hutchinson (1988) mostrada na Tabela 6 é considerada uma das mais completas, é baseada, principalmente, no tipo de movimento. Considera a morfologia da massa em movimento e em critérios associados ao tipo de material, mecanismo de ruptura, às condições de poro-pressão, a velocidade do movimento e as características de fabrica do solo. Hutchinson exclui da sua classificação quaisquer movimentos de grande escala, envolvendo tectônica, subsidências, e outras formas de afundamento da superfície (VANACÔR, 2006).

Tabela 6 - Classificação dos movimentos de massa de Hutchinson

Tipos	Subtipos	
Rebound	Artificiais	
	Naturais	
Rastejo	Superficial	-Rastejo de solo ou talus -Rastejo de gelo, gelifluxão
	A grandes profundidades (deep-seated)	
	Anterior a ruptura (pre failure) Posterior a ruptura (post failure)	
Sagging of mountain slopes	Um lado da encosta	-Rotacional -Combinado
	Dois lados da encosta	-Rotacional -Combinado
	Combinado com tombamento	
Escorregamentos	Ruptura confinada	-Taludes naturais -Taludes artificiais
	Rotacionais	-Simples -Sucessivos -Múltiplos
	Compostos	-Liberados por cisalhamento interno -Progressivos
	Translacionais	-em placas (sheet) -em lascas (slab/flake) -em turfas (peat/bog)
		-em rochas (planar, escalonado, cunha)
		-detritos (não periglacial e periglacial) -espalhamento lateral repentino
Escoamento ou fluxo (Flow-like form)	mudslides	-Placas -Alongados
	flow slides	-Sem coesão -Materiais ligeiramente cimentados -Rochas brandas muito porosas
	debris flows	-Detritos de rochas intemperizadas -Materiais orgânicos -Materiais provenientes de vulcões
	sturzstroms	
Tombamentos	Descontinuidades pré-existent	- simples - múltiplos
	Fissuras de tração em material intacto	
Quedas	Primárias	
	Secundárias	
Complexos		

Fonte: Ahrendt (2005).

No Brasil o primeiro trabalho que categorizou a movimentação de massa foi elaborado por Freire (1965). Esse autor dividiu os movimentos em: escoamentos; escorregamentos; subsidências e desabamentos. Guidicini e Nieble (1984) adaptou o trabalho de Freire adicionando as formas de transição e os movimentos complexos. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1991) baseou-se nos trabalhos de Freire e

Guidicini e Nieble para elaborar uma classificação simplificada mostrada na Tabela 7 (VANACÔR, 2006).

Tabela 7 - Comparação entre as principais propostas brasileiras de classificação dos movimentos de massa

Freire (1965)	Guidicini e Nieble (1984)	IPT (1991)
Escoamentos: Rastejo e corridas	Escoamentos: Rastejo e corridas	Rastejos Corridas de Massa
Escorregamentos: Rotacionais e Translacionais	Escorregamentos: Rotacionais, Translacionais, Quedas de Blocos e Quedas de Detritos	Escorregamentos
Subsidências e Desabamentos	Subsidências: Subsidências, Recalques e Desabamentos	Quedas/Tombamentos
	Formas de Transição Movimentos Complexos	

Fonte: Fernandes e Amaral (2003) apud Vanacôr (2006),

Augusto Filho (1992) classifica os movimentos de massa devido principalmente, a composição do material e a velocidade de deslocamento, em quatro tipo:

Rastejo (*creep*): são movimentos lentos que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento ao longo do tempo é mínimo (mm ou cm/ano). ou fluimentos são movimentos bastante lentos que ocorrem nas camadas superiores do maciço, diferem dos escorregamentos, pois neles não existe uma linha que separa de forma nítida, a porção que se desloca e a parte remanescente estável do maciço. Dentre os tipos de movimentação de massa é o que possui menor energia destrutiva. A ocorrência de rastejo pode ser identificada por meio da observação de indícios indiretos, como o encurvamento de árvores, postes e cercas, fraturamento da superfície do solo e de pavimentos (Figura 10).

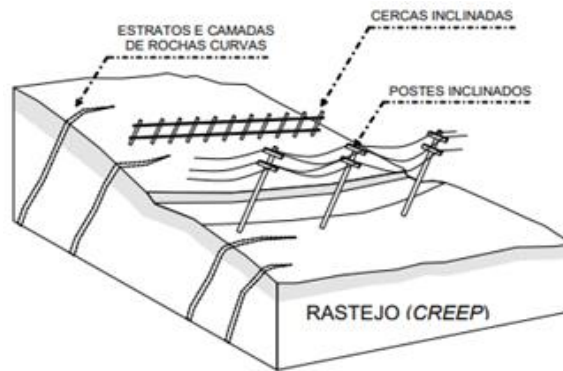


Figura 10 - Ruptura de taludes do tipo rastejo.

Fonte: adaptada de Brasil (2007).

Escorregamentos: caracterizam-se por movimentos rápidos (m/h ou m/s) com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Apesar de serem mais raras de ocorrer, produzem estragos maiores que o rastejo (Figura 11). Segundo Filho e Wolle (1996) podem ser divididos em:

- Translacionais: representam a forma mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa (Fernandes e Amaral 2003), a superfície de ruptura apresenta forma planar a qual acompanha, geralmente, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material. O escorregamento ocorre em uma superfície relativamente plana e associada a solos mais rasos.
- Rotacionais: possuem superfícies de deslizamento curvas, côncavas para cima ao qual se dá um movimento rotacional de massa de solo, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas.
- Cunha: estão associados a saprolitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis a estabilidade, condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos.

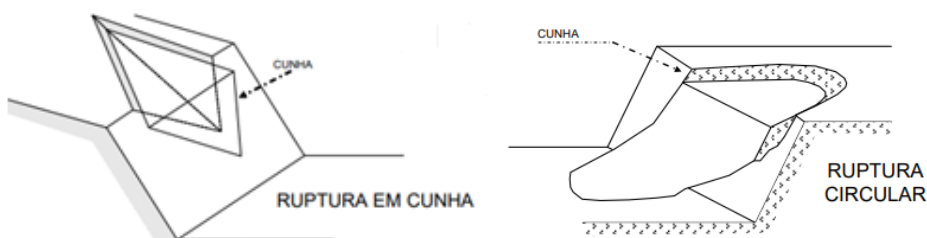


Figura 11 - Ruptura de talude do tipo cunha.

Fonte: adaptada de Brasil (2007).

Quedas ou Tombamentos (*slides*): são movimentos em queda livre de fragmentos rochosos com volumes variáveis, que se desprendem de taludes íngremes (Figura 12). São extremamente rápidos (m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rocha em movimentos de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno. Infanti e Filho (1998) classificam em diversos tipos:

- Queda de blocos: envolve materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se destacam de taludes ou encostas íngremes e se deslocam movimento tipo queda livre;
- Tombamento de blocos: movimento que se dá pela rotação de blocos rochosos, condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço rochoso, com grande mergulho;
- Rolamento de blocos: corresponde a movimento de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas;
- Desplacamento: consiste no desprendimento de lascas ou placas de rocha que se formam a partir de estruturas, devido as variações térmicas, ou por alívio de tensão.

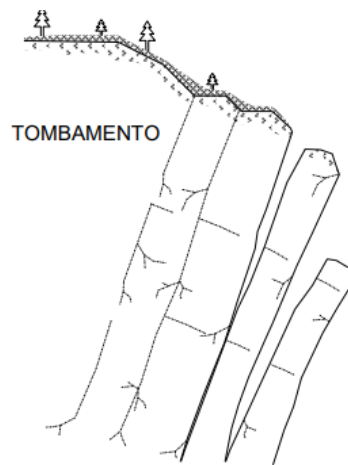


Figura 12 - Ruptura de talude do tipo tombamento.

Fonte: adaptada de Brasil (2007).

Existem diversas causas para as quedas: alternância de congelamento e degelo ao longo de fraturas e juntas em regiões frias, variação térmica do maciço rochoso, perda de sustentação dos blocos por ação erosiva da água, desconfinamento lateral do maciço rochoso devido a entalhes recentes, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações e outras (TOMINAGA, 2005).

Corridas de massa (*flows*): são movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Mobilizam grandes volumes de material sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e rapidamente transportado. Liquefaz o material superficial que escoar encosta abaixo em forma de um material viscoso composto por lama e detritos rochosos. Esse tipo de movimento de massa se caracteriza por ter extenso raio de ação e alto poder destrutivo (CEMADEN, 2018).

A classificação de Augusto Filho (1992) reúne as principais características dos movimentos de massa, no âmbito da dinâmica ambiental brasileira. A Tabela 8 traz um resumo das principais características observadas em cada tipo de movimento de massa.

Tabela 8 - Tipos de escorregamentos segundo Augusto Filho

Processos	Características do movimento/material/geometria
Rastejo (Creep)	Vários planos de deslocamentos (internos) Velocidades muito baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	Poucos planos de deslocamento (externos) Velocidades médias e altas Pequenos e grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza. Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (Falls)	Sem planos de deslocamentos Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas Material rochoso Pequenos e médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão, tombamento
Corridas (Flows)	Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água

Fonte: adaptada de Augusto Filho (1992).

4.4 CONDICIONANTES QUE INFLUENCIAM NO MOVIMENTO DE MASSA

Os fatores que influenciam nos movimentos de massa são inúmeros, os mais comumente mencionados são o tipo de solos, a declividade, a precipitação, o uso e ocupação do solo e o próprio substrato geológico, entre outros (TOMINAGA et al., 2005; YALCIN, 2008; FEIZIZADEH et al., 2013). Os principais condicionantes que influem na ocorrência dos movimentos de massa foram divididos por Cruden e Varnes (1996) em quatro grupos:

- Geológicos: matérias poucos resistentes ou sensíveis, materiais alterados, materiais fissurados, orientação desfavorável de descontinuidades, contraste na permeabilidade ou baixa consistência dos materiais), englobando as características lito-estruturais e tectônicas;
- Geomorfológicos: soerguimento tectônico ou vulcânico, qualquer tipo de erosão, morfologia da encosta, deposição ou carregamento sobre a encosta ou na crista da encosta, remoção da vegetação;
- Agentes físicos: chuva intensa, degelo repentino, intemperismo por degelo e congelamento, abalo sísmico, erupção vulcânica, intemperismo do material expansivo;
- Antrópicos: escavação da encosta ou de seu pé, carregamento da encosta ou da sua crista, desmatamento, irrigação, mineração, vazamento de águas servidas, vibrações artificiais) (VANACÔR, 2006).

Alguns exemplos de intervenções antrópicas nas cidades advindas do processo de urbanização, acabam sendo o gatilho para a desestabilização do solo provocando movimentos de massa (Tabela 9). A exemplo do desmatamento, exposição do solo, terraplenagem e escavações do terreno para a ocupação, drenagem retificada e/ou represadas para o abastecimento, além de construção de usinas hidrelétricas, retaludamento de encostas para construção de vias, ocupação de áreas de declividade acentuada, dentre outras.

Tabela 9 - Principais interferências indutoras do movimento de massa

Ações Antrópicas	Implicações
Desmatamento	Eliminação da proteção ao impacto das chuvas.
Construções em encostas	Modificações no fluxo da água superficial e aceleração do processo de erosão.
Execução de aterros sem compactação adequada.	Sobrecarga e criação de um material de baixa resistência.

Obstrução dos cursos naturais ou linhas de drenagem	Aumento da poro-pressão
Lançamento de esgotos nas encostas	Aumento da poro-pressão
Fragmentação do maciço para exploração de material, ou para construção civil	Criação de zonas de fraqueza, diminuição da resistência mecânica e consequentemente aumento da erosão.

Fonte: adaptada de Parizzi (2004).

A vegetação exerce papel fundamental na estabilização das encostas, com o seu sistema radicular que preenche os vazios do solo, retardando o processo de infiltração das águas das chuvas. Quando há modificação nas características do taludes natural, acréscimo de cargas ou exploração do solo que gerem instabilidade, pode-se optar por infraestruturas de contenção (muros de gravidade ou atirantamento).

A consistência do solo é uma das características mais importantes para a engenharia, pois determina o comportamento do solo ante determinadas tensões e deformações. Para analisar essa propriedade em 1911 foram definidos, pelo cientista sueco A. Atterberg, certos limites que delimitam o intervalo de consistência do solo, denominados limite de liquidez e de plasticidade. A diferença entre esses dois limites é conhecida como Índice de Plasticidade (IP). Tradicionalmente, para a determinação do limite de liquidez o método mais utilizado é aquele padronizado por Arthur Casagrande, que utiliza o aparelho desenvolvido pelo mesmo. (SOUZA, 2000).

Collins e Znidarcic (2004), investigando as características dos solos e da morfologia relacionadas a escorregamentos e a corridas de detritos em Santa Cruz (Canadá), apontaram que uma das causas internas dos escorregamentos é a alteração do equilíbrio entre as tensões no interior da massa. Muitas vezes as frentes de umedecimento localizam-se no contato entre rocha sã ou rocha parcialmente decomposta, assim, esses materiais que contêm mais areia e menor quantidade de argila, atingem mais rapidamente o limite de liquidez.

Os principais fenômenos que permitem menor ou maior deslizamento são o atrito e a coesão (PINTO, 2015). A resistência ao cisalhamento dos solos resulta principalmente do atrito entre os grãos. A atração química entre partículas, independente da força normal, tem uma parcela de resistência significativa, que é denominada coesão real. A coesão real não pode ser confundida com a coesão aparente, que é resultado da poro-pressão da água,

atuando principalmente em solos argilosos. Essa resistência desaparece à medida em que o solo vai sendo saturado, fazendo os grãos se afastarem e diminuindo a coesão.

O que destaca mais uma vez a importância da análise do teor de umidade ou saturação do solo. No Brasil as chuvas fortes e os fatores antrópicos representados pelo processo de urbanização e desmatamento são os principais agentes causadores de escorregamentos (AHRENDT, 2005).

Já o ângulo de atrito pode ser entendido, como o maior ângulo que a força transmitida pelo corpo à superfície pode fazer com a normal ao plano de contato. Vencida a proporcionalidade entre essas forças pode resultar no desequilíbrio do maciço. Por esse motivo que os deslizamentos também podem ser provocado pela inclinação do plano de contato.

4.5 REFERÊNCIAS

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP.** Tese apresentada a escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em Geotecnia, São Paulo, 2005. 390p.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológica geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In:* Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. p. 721-733.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E.; CARVALHO, S. M. C. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. da UFSC, v. 3, 2003. p. 877-1436.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **Movimento de massa.** Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>. Acesso em: 10 mai, 2019.

COLLINS, B. D.; ZNIDARCIC, D. Stability analyses of rainfall induced landslides **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 130, n. 4, 2004.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslides: type and processes. *In:* TURNER, A. K., SCHUSTER, R. L. Landslides investigation and mitigation. Washington: Transportation Research Board, National Research Council – Special Report, 1996. 247p.

DAS, I.; SAHOO, S.; VAN WESTEN, C.; STEIN, A., HACK; R. **Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rockmass classification**

system, along a road section in the northern Himalayas (India), *Geomorphology*, v.114, n.4, p.627-637, 2010.

FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.56, n.1, 2012. p.1-23.

FERNANDES, N. A.; AMARAL, C. P., Movimentos de massa uma abordagem geológica-geomorfológica. *In*: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Eds.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: **Anais...** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 3, 2003. p. 123-194.

FREIRE, E. S. M. **Movimentos coletivos de solo e rochas e sua moderna sistemática**. Construção, Rio de Janeiro, 1965. p.10-18.

FILHO, O. A.; WOLLE, C. M. Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP. São Paulo: **ABGE, Revista Solos e Rochas**, v. 19, n.1, 1996 p.45-62.

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

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JUNIOR, O. A. **Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro**. *Engineering Geology*, v. 69, n. 1-2, abr. 2003. p. 99-108.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C.M., **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2 ed., 1984. 194p.

HIGASHI, R. A. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Área: Infraestrutura e Gerência Viária, Florianópolis, 2002.

HUTCHINSON, J. N. General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. *In*: 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, vol. 1, 1988. p.3-35.

HUTCHINSON, J. N. Mass Movement, *In*: *Encyclopedia of Geomorphology*, Ed. Fairbridge, R. W., 2ª edição, Reinhold Book Co., New York, EUA. 1968.

INFANTI, J. R., FILHO, N. F. Processos de dinâmica superficial. *In*: OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. (EDS). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: **Anais...** São Paulo Associação Brasileira de Geologia da Engenharia, 1998. 586p.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual de ocupação de encostas. CUNHA, M. A. (Coord.) Publicação IPT n.1831, 1991. 216p.

PARIZZI, M. G. **Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região metropolitana de Belo Horizonte**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto -MG, 2004. 200p.

PACHECO, G. H. S.; FREITAS NETO, O.; SEVERO, R. N. F. Análise da estabilidade das falésias de Tibau do Sul por métodos de equilíbrio-limite. **Rev. Holos**, v. 2, n. 22, 2006.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO S. C. Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, 2015.

SOUZA, C. M. A.; RAFUL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 4, n. 3, 2000. p. 460-464. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662000000300024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SHARPE, C. F. S. **Landslides and related phenomena**. Columbia University press, New York. 1938.

SILVA, J. P. M. **Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 2011. 149 p.

TERZAGHI, K. **Mecanismo dos escorregamentos de terra**, publicado pela Escola Politécnica da USP, 1967, 41 pp., il. Transcrito da Revista Politécnica no. 167, julho/agosto de 1952. Tradução de Ernesto Picheler. Título original: Mechanism of landslides (1950), Havard, Department of Engineering, publicação No. 488, Janeiro de 1951, pp. 83-123, il (Havard Soil Mechanics Series). Reimpressão pela Engineering Geology (Berkey), Volume Geological Society of America, novembro de 1950

TOMINAGA, L. K.; FERREIRA, C. J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J. Ocupação urbana e risco a processos de movimentos de massa no litoral norte de São Paulo: avaliação dos fatores geoambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. CD ROM.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimento de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação apresentada ao Centro Estadual de Pesquisas

em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Setembro 2006.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. *In*: R. L. SCHUSTER; R. J. KRIZEK (Eds.) Landslides: Analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, 1978. p.11-33.

YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **Catena**, v.72, n.1, 2008. p.1-12.

CAPÍTULO 5

5. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

5.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

VANT (abreviação em português para *Unmanned Aerial Vehicle*) são veículos aéreos motorizados que não carregam um operador a bordo, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar autonomamente ou serem controlados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas. Não incluem nesta definição veículos balísticos e semi-balísticos como mísseis de cruzeiro, e projéteis (DOD, 2003).

Medeiros (2007) define VANT como, pequenas aeronaves, que sem contato físico direto, capazes de executar atividades de monitoramento, reconhecimento tático, vigilância, mapeamento, entre outras. Outro conceito inerente a esse recurso é o Sistema Aéreo Não Tripulado (SANT). Trata-se do conjunto formado pelo VANT, seus controles de voo e seu sistema de operação.

Os VANTs podem ser classificados em dois tipos: VANTs com asas fixas e VANTs com asas rotativas (Figura 13). Os que possuem asas fixas são indicados para voos ao ar livre, podendo cobrir uma área extensa, ideal para levantamentos de cidades inteiras ou em aplicações como a agricultura de precisão. Os VANTS com asas rotativas possuem maior capacidade de voos em baixa altitude e em ambientes fechados devido as suas características de manobra, decolagem, pouso vertical e voo pairado. Estes são mais utilizados para decolagem em locais apertados e para aplicações em fotogrametria terrestre. (KERROW, 2004; SOUSA, 2017)



Figura 13 - Modelos de VANT mais utilizados.

Fonte: Pecharromán e Veiga (2016).

Os VANTs podem ser também classificados pelas suas características e desempenho tais como peso, duração de voo, alcance, velocidade, etc. Essas informações são muito importantes para designers, fabricantes e consumidores, pois poderão equiparar suas necessidades com as características e desempenho do VANT para achar o que melhor corresponda as suas expectativas. Essas classificações estão representadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Classificação pela característica e desempenho do VANT

VANT	Categoria	Peso máximo de decolagem (kg)	Altitude máxima (m)	Alcance de dados (km)
Micro/Mini	Micro (MAV)	0,1	250	<10
	Mini	<30	150-300	<10
Tático	Alcance próximo	150	3.000	out/30
	Curto alcance (CR)	200	3.000	30-70
	Médio alcance (SR)	150-500	3.000-5.000	70-200
	Longo alcance (MR)	-	5.000	200-500
	Duração (LR)	500-1.500	5.000-8.000	>500

	Altitude média, longa duração (MALE)	1.000-1.500	5.000-8.000	>500
Estratégico	Alta altitude, longa duração (HALE)	2.500-12.500	15.000- 20.000	>2.000
Táticas Especiais	Letal (LET)	250	3.000-4.000	300
	Chamariz (DEC)	250	50-5.000	0-500
	Estratosférico (Strato)		20.000- 30.000	>2.000
	Exo- estratosférico (EXO)		>30.000	

Fonte: adaptada de Chirolí (2016).

Os VANTs apresentam vantagens técnicas e econômicas se comparados com os métodos tradicionais de aerolevantamento (LONGHITANO, 2010; GREGORIO et al., 2015). A inclusão de um aparelho GPS permite georreferenciar as imagens. Por esse motivo a utilização dessa tecnologia vem se difundindo em diversos setores, a exemplo da agricultura de precisão, arqueologia e segurança, assim como, nas mais variadas temáticas de pesquisa acadêmicas a exemplo do, planejamento urbano, saneamento, estudos de aglomerados subnormais, entre outras análises geográficas. Entretanto, o VANT possui limitações quanto a carga à bordo e as condições climáticas.

5.2 CONTEXTO HISTÓRICO

A princípio os VANTs foram desenvolvidos para atividades militares, como o reconhecimento de terrenos do inimigo, sem colocar em risco a vida de um operador. A utilização de VANTs em operações de guerra possui o seu primeiro relato em 22 de agosto de 1849, quando os Austríacos lançaram cerca de 200 balões não tripulados com explosivos contra a cidade de Veneza, Itália (LONGHITANO, 2010).

Um importante marco na história do uso de VANTs para essa finalidade, segundo Puscov (2002), aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial, onde cerca de 15 mil VANTs foram projetados. Posteriormente se tornaram conhecidos pelo público em geral ao serem usados também em grande escala pelas forças norte-americanas para o monitoramento de inimigos, designação de alvos e até lançamento de armamentos guiados na Segunda Guerra do Golfo,

iniciada em 2003. (PECHARROMÁN e VEIGA, 2016). Atualmente, eles vêm sendo utilizados por civis e para pesquisas científicas (LONGHITANO, 2010).

Entretanto, acredita-se que o primeiro VANT que tenha levantado voo com sucesso no mundo tenha sido o “Sperry’s Aerial Torpedo”, construído no ano de 1917 por Lawrence e Elmer Sperry. O veículo realizou vários voos bem-sucedidos no aeródromo de Long Island, Nova York (FAHLSTROM; GLEASON, 2012).

A modernização dos VANTs ocorreu na década de 1970, a partir daí os modelos passaram a diminuir de tamanho e se assemelhar com os padrões atuais. Foi nesse período que o Estados Unidos e Israel começaram a desenvolver VANTs mais baratos. Ao longo da década de 1970 e 1980, a Força Aérea israelense foi pioneira em vários veículos novos que foram eventualmente utilizados nas frotas de outros países no final dos anos de 1980 e início dos anos de 1990, incluindo os EUA (DEGARMO, 2004).

No Brasil, os primeiros relatos de VANT’s ocorreram na década de 80, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã. Este tinha fins militares especificamente e ficou desativado depois sendo, somente em 2007, reativado por uma iniciativa do governo de incentivo ao desenvolvimento de VANT no Brasil (MEDEIROS, 2007).

No ano de 2000 com o Projeto Aeronave de Reconhecimento Autônoma e Remotamente Assistida (ARARA) – desenvolvido pela AGX tecnologia em conjunto com o Instituto de Ciências Matemáticas e Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - os VANTs para uso civil começaram a crescer no mercado. Em 2005 o primeiro VANT de asa fixa com tecnologia totalmente brasileira foi criado, fruto do projeto ARARA (FREITAS, 2012).

Nos últimos anos aeronaves não tripuladas tiveram um grande desenvolvimento se disseminando pelo mundo. A evolução tecnológica propiciou a otimização dos sistemas de navegação por satélite, a redução do tamanho dos sistemas inerciais, câmeras digitais leves e compactas e programas computacionais mais sofisticados, tornando essa tecnologia cada vez mais popular.

5.3 NORMAS E REGULAMENTAÇÃO

Por ser uma tecnologia ainda recente, ainda há muito a ser esclarecido com respeito a classificação e utilização de VANTs. O grande crescimento do setor aéreo de veículos não tripulados tem levado o Brasil ao estudar novas possibilidades de uso dessa ferramenta, formando grupos técnicos que se dedicam a buscar não só a sua regulamentação, mas também tentando consolidar normas para o uso desses veículos.

O uso dos VANTs é regulamentado primariamente por três agências federais, sendo elas: a Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

A ANAC é a responsável pela definição de normas e categorização dos equipamentos. No dia 2 de abril de 2017 a diretoria da agência aprovou as normas para uso comercial de VANTs no Brasil por meio do RBAC-E 94 de 2017 e apresentou o sistema Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) para cadastro online dos VANTs que é obrigatório para aeronaves não tripuladas de uso recreativo (aeromodelo) ou não recreativo, com peso máximo de decolagem superior a 250g e limitado a 25kg e que não voará além da linha de visada visual ou acima de 400 pés (120 metros) acima do nível do solo.

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é o responsável pelas regras de uso do espaço aéreo e apresentou sua Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40 no final de 2016. Que regulamenta o sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro.

Já a ANATEL é a responsável pela homologação de sistemas emissores de rádio-frequência. Foi a primeira a se adequar pois ela não homologa os VANTs e sim seus sistemas de rádio e transmissores de vídeo.

5.4 USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES

Os VANTs têm diversas aplicações, como: análise de recurso terrestre, planejamento urbano, manejo de recursos naturais, agricultura de precisão, monitoramento ambiental, estudo de tráfego, reposta a emergências de desastres, monitoramento florestal, monitoramento de áreas vulcânicas, mapeamentos sistemáticos e temáticos em geral (LONGHITANO, 2010). Vale destacar a eficiência do VANT para o monitoramento e,

consequentemente, na gestão de riscos e desastres, pois o mesmo oferece resultados precisos, quase em tempo real, em alta definição e alta frequência de captura de imagens aéreas.

Avanços na instrumentação dos VANTs permitiram uma criação de mapas totalmente automática, uma ferramenta muito valiosa para mitigação e respostas rápidas. De acordo com Adams et al. (2011) esses mapas podem ser usados para ajudar nas respostas a desastres, pois eles contêm informação espacial atualizada. A mitigação de riscos é um componente integral da gestão de desastres.

De acordo com Chirolí et al. (2016), esses dados fazem a diferença no monitoramento de áreas vulneráveis a risco de desastres, auxiliando na detecção do início dos fenômenos naturais, mapeamento das áreas para formular um plano de evacuação e ajudar a encontrar a melhor localização para a instalação de abrigos e pontos de distribuição.

Atualmente, muitos são os estudos disponíveis que realizaram propostas para avaliação de riscos, considerando a probabilidade de ocorrência de um fenômeno e o grau de perda potencial associado, ou seja, os impactos decorrentes da efetivação de um fenômeno no espaço. Buffon (2018) desenvolveu um estudo no qual utiliza os VANTs em uma análise sobre inundações de áreas urbanas edificadas. Para ele os resultados indicaram o uso de VANTs como sendo uma metodologia de baixo custo e importante para as áreas desprovidas de imageamento em detalhe, e se mostrou eficiente como um sistema de apoio à decisão espacial frente à mitigação e prevenção dos desastres decorrentes de inundações.

No estudo da vulnerabilidade social e ambiental e da inundação urbana, diferentes métodos podem ser empregados para quantificar as características socioeconômicas da população e biofísicas do ambiente, auxiliando, assim no conhecimento dos condicionantes que possam induzir ou colocar em risco a população, os VANTs, podem operacionalizar muitos desses métodos (BUFFON,2018).

A identificação e o mapeamento de áreas com suscetibilidade à ocorrência de desastres ditos “naturais” é uma importante ferramenta para auxiliar à gestão e planejamento territorial de uma região.

5.5 REFERÊNCIAS

ADAMS, S. M.; FRIEDLAND, C. J. A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management. *In: 9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response*, 2011. 9p.

BUFFON, E. A. M.; PAZ, O. L. S.; SAMPAIO T. V. M. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento das vulnerabilidades à inundação urbana: referenciais e bases de aplicação. **Rev. do Departamento de Geografia da USP**, volume especial, 2017.

CHIROLI, D. M. G.; YOKOTA, E. O. Proposta do uso de VANT nas ações de logística humanitária no estado do Paraná-Brasil. **Rev. Espacios**, v. 37, n. 22, 2016.

FAHLSTROM, P. G.; Gleason, T. J. **Introduction to UAV Systems**, John Wiley e Sons, 2012.

FREITAS, E.; COTTET, F. A invasão dos VANTs: Veículos aéreos não tripulados já são realidade no setor de sensoriamento remoto *In. . INFOGEO nº 60*. MundoGeo. Curitiba-PR, 2010.

KERROW, P. M. Modeling the Draganflyer four-rotor helicopter. International Conference on Robotics & Automation, New Orleans, LA, USA, 2004.

LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 163 p.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para a aplicação em agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. 102p.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Diálogos Setoriais União Européia - Brasil. Brasília - DF, 2016. p. 92.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO S. C. Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada. **Caderno de Geografia**, v.25, n.43, 2015.

PUSCOV, J. Flight System Implementation in UAV. Examensarbete utfört vid Fysikinstitutionen, KTH, SCFAB Sommaren-Hösten, 2002.

CAPÍTULO 6

6. METODOLOGIA

A metodologia aplicada divide-se em três etapas. A primeira consiste na fase de levantamento de dados, coleta de amostras do solo e análises no laboratório além de levantamentos fotogramétricos no campo com uso de VANT. A partir do conjunto de dados e informações obtidas, na segunda fase serão aplicados os modelos de avaliação de risco de deslizamento através do método qualitativo e o modelo determinístico. No método qualitativo de classificação de risco de desastre por movimento de massa será utilizada a metodologia de classificação de risco estabelecida por BRASIL (2007) e no modelo determinístico será calculado o fator de segurança, através do software slope/w, usando os parâmetros coesão, ângulo de atrito, com base na relação Momento resistivo/Momento atuante do conjunto das fatias do solo na seção considerada. Por fim, a terceira fase refere-se às considerações finais e recomendações, levando em consideração a importância do tema focado, resultantes da intersecção entre teoria e resultados práticos, a partir dos resultados das análises realizadas nas áreas com populações vulneráveis estudadas em relação aos objetivos definidos.

6.1 PRIMEIRA FASE

6.1.1 LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES NO CAMPO COM USO DE VANT

Dentre as opções de plataformas aéreas disponíveis, optou-se pelo modelo apresentado na Figura 14, com o intuito de simplificar o processo de regulamentação e operacionalização, como também de minimizar os custos operacionais.



Figura 14 - VANT Phantom 4 Pro.

Como pode-se observar na Figura 14, a aeronave utilizada é de asa rotativa, desenvolvido pela empresa DJI, modelo Phantom4 Pro, classificado como RPA Classe 3. Suas principais características são: envergadura de 35 cm, alcançando velocidade de cruzeiro de 10 km/h, com peso total de 1,38 kg. Tem capacidade de operar a uma distância de até 5 km da base, utilizando bateria de LiPo de 4 células, 15,2 V e 5.350 mAh, com autonomia de 20 minutos de voo, tempo suficiente para recobrir até 20 ha por voo, voando a 120 m de altura e recobrimento longitudinal e lateral das fotos em 80%.

Para captura das imagens o Phantom 4 Pro é equipado com uma câmera digital de pequeno formato não métrica OEM, de 12,4 Mpx (4.000 x 3.000 pixels), sensor CMOS de 1/2,3", distância focal de 20 mm e abertura f/2,8, com estabilização óptica, velocidade de obturação máxima de 1/8.000 s, com cartão de memória de 32 Gb.

A metodologia utilizada na aquisição e processamento dos dados, foi dividida em quatro etapas e baseou-se em Silva et al. (2015):

A) Etapa 1: Planejamento do voo

Consiste no planejamento da área a ser sobrevoada, para isso é feito um plano de voo com o uso do software "*drone deploy*". Além disso nessa etapa são verificadas todas as condições necessárias para a realização desse voo como: previsão meteorológica para o dia de execução do voo, definição do horário de realização do voo com objetivo de minimizar a existência de sombras (janela de voo) e solicitação do requerimento de autorização de voo ao DECEA.

B) Etapa 2: Execução do voo

Esta etapa iniciou-se com a checagem dos equipamentos tais como, bateria, cartão de memória, comunicação da estação de controle com a aeronave e, na hipótese de detecção de algum problema que inviabilizasse o levantamento, por medida de segurança, a operação é cancelada.

Após esta verificação, inicia-se o aplicativo de controle da aeronave, fazendo checagem de voo e decolagem automática, passando a executar o plano de voo elaborado na etapa anterior. Vale salientar que, durante esta fase o VANT opera de forma automática, mas não autônoma, sendo possível a intervenção do operador a qualquer momento. Toda a operação do VANT é controlada pela estação de solo, a qual recebe em tempo real o vídeo da câmera da aeronave e os dados de telemetria (altitude, velocidade, localização e carga da bateria).

Após executar o plano de voo a aeronave retorna a base e realiza o pouso automático, mas é recomendável que o piloto assuma o comando e realize o pouso manualmente por segurança.

C) Etapa 3: Pós voo

Após a finalização do voo, se faz necessário avaliar se a trilha de voo foi gravada sem interrupções, bem como verificar se durante o voo, devido ao vento, o VANT não se distancie demasiadamente da linha planejada, causando perda no recobrimento lateral das fotografias. Com a aquisição de todos os dados, fez-se necessário gerenciar os dados obtidos de modo criterioso para garantir a integridade do resultado final.

D) Etapa 4: Processamento dos dados

A partir das imagens coletadas, iniciou-se a fase de processamento, que foi feito com o uso do software “*Agisoft PhotoScan Professional*”, versão 1.4.1.5925, em um fluxo de trabalho composto pelo alinhamento das câmeras, densificação da nuvem de pontos, criação dos modelos digitais do terreno (MDT), e por fim criação dos ortomosaicos.

6.1.2 COLETA E ANÁLISE DO SOLO

A erodibilidade dos solos de um talude é influenciada por suas propriedades físicas e químicas, bem como por alterações na geometria original e ação da chuva pelo gotejamento e escoamento superficial. Dessa forma, a utilização de ensaios que visem caracterizar os solos e as áreas susceptíveis ao processo erosivo torna-se uma importante ferramenta para o estabelecimento de políticas de uso e ocupação adequadas (POLIVANOV, 2018).

Nessa etapa, foi retirada, com auxílio de uma cavadeira articulada, amostras do solo. Essas amostras foram analisadas no Laboratório de Solos, do Centro de Tecnologia, da UFPB, no sentido de determinar o tipo de solo, através de uma análise granulométrica.

A) Preparação da amostra

Coletar uma amostra de 2000g e passar todo o material coletado na peneira nº10. O material retido será colocado no almofariz e destorroado. Os pedregulhos restantes serão colocados em bandeja de alumínio para ser lavado na peneira nº10. Do material passante, pesa-se 50g para determinação da umidade higroscópica. Depois de pesado, a cápsula com o material será colocado na estufa a 110°C.

Ainda do material passante na peneira nº10, será pesado uma quantidade de 100g numa bandeja de alumínio para ser lavado na peneira nº200. Do material passante na peneira nº10,

passa-se o material na peneira nº100 até completar uma quantidade de aproximadamente 60g para o ensaio de Sedimentação. O restante não aproveitado pode ser jogado no lixo.

Os materiais de resíduo da peneira nº10 serão lavados na peneira nº10, enquanto o material passante de 100g será lavado na peneira nº200, onde posteriormente ficarão de repouso para outras lavagens até serem colocados na estufa a 110°C.

B) Procedimento Experimental Análise Granulométrica

Lava-se o material retido na peneira Nº 10 e coloca-se na estufa a temperatura de 110°C. O material após seco, é peneirado no conjunto de peneiras referente a fração pedregulho, que compreende as peneiras de 38,1 – 28,4 – 19,1 – 9,5 – 4,8 – 2,0 mm de abertura, anotando-se o peso retido em cada uma. Lava-se na peneira Nº 200, 100g de solo que passou na peneira Nº 10. O material é colocado na estufa e depois peneirado no conjunto de peneiras referente a fração areia, que compreende as peneiras de 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,30 – 0,15 – 0,074 mm de abertura, anotando-se o peso retido em cada uma delas.

6.2 SEGUNDA FASE

Nessa fase foram utilizadas duas metodologias para a classificação das áreas vulneráveis.

A primeira utilizada foi um método qualitativo que se baseia no julgamento técnico e pessoal para a definição de áreas propensas a deslizamento. A segunda metodologia utilizada foi a aplicação de um modelo determinístico. Modelos de estabilidade, como os usados em engenharia geotécnica, calculam a estabilidade de um talude, usando parâmetros como coesão, ângulo de atrito e poropressões. Como resultado obtém-se o fator de segurança (FS).

6.2.1 RISCO DE NATUREZA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

A metodologia de Brasil (2007) apresenta um passo a passo para a classificação do grau de risco de uma moradia ou grupo de moradias, para o caso de risco de desastre por movimento de massa.

O primeiro passo é o levantamento dos dados gerais: localização, condições de acesso, tipo de moradia (se em alvenaria, madeira ou misto). Em seguida é feita a caracterização do grupo de moradias: tipo de talude (natural ou corte), tipo de material (solo, aterro ou rocha),

presença de materiais (bloco de rochas e matacões, lixo e entulho), distância da moradia ao topo ou base dos taludes, inclinação da encosta ou corte.

De acordo com Brasil (2007), inclinação, amplitude e perfil são os principais elementos geométricos de uma encosta ou talude. Segundo o autor, a inclinação traduz o ângulo médio da encosta com eixo horizontal medido, geralmente, a partir da base.

$$\text{Inclinação } (\alpha) = \text{ARCTAN} \left(\frac{H}{L} \right) \quad \text{Equação (14)}$$

Já a declividade representa o ângulo de inclinação em uma relação percentual entre o desnível vertical (H) e o comprimento na horizontal (L) (Figura 15).

$$D(\%) = \left(\frac{H}{L} \right) \times 100 \quad \text{Equação (15)}$$

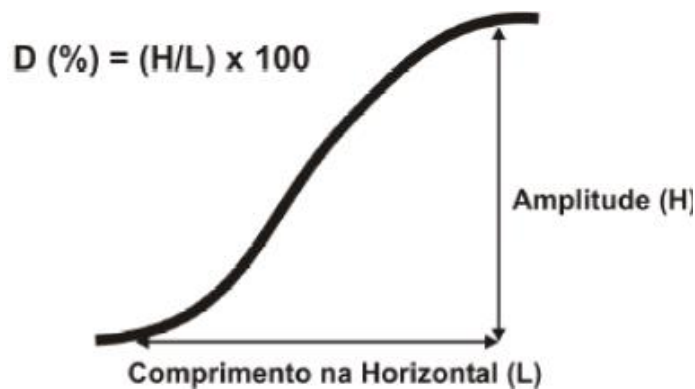


Figura 15: Cálculo da declividade

Fonte: Brasil (2007).

A tabela abaixo apresenta a relação entre os valores de declividade e inclinação (Tabela 11). Pode-se estabelecer que taludes acima de 17° são passíveis de movimentações e assim relacionar com a Lei 6766/79 (Lei Lehman).

Tabela 11: Relação declividade e inclinação

DECLIVIDADE		INCLINAÇÃO
$D(\%) = (H/L) \times 100$		$\alpha = \text{ARCTAN} (H/L)$
100%	↔	45°
50%	↔	~ 27°
30%	↔	~ 17°
20%	↔	~ 11°
12%	↔	~ 7°
6%	↔	~ 3°

Fonte: Brasil (2007)

O terceiro passo é analisar o sistema de drenagem superficial, as águas servidas e esgotos. Após essa análise é feita uma avaliação da cobertura vegetal da encosta. Em seguida observa-se se há sinais de movimentação na área e qual tipo é esperado ou já ocorreu.

Por fim, o ponto mais importante do roteiro, é a classificação do grau do risco. Os riscos são classificados em: baixo ou sem risco (R1), médio (R2), alto (R3) e muito alto (R4) (Tabela 12). Dependendo do grau do risco é feita uma indicação se há necessidade de remoção da população.

Tabela 12 - Classificação do grau de risco

Grau de Probabilidade	Descrição
R1 Baixo ou sem risco	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. 3. mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 Muito Alto	1. os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. 2. os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

Fonte: Brasil (2007).

6.2.2 ESTABILIDADE DE TALUDES

A fim de se comparar a estabilidade de taludes em condições diferentes de equilíbrio-limite, define-se o fator de segurança (FS) como a resultante das forças solicitantes e resistentes ao escorregamento (GUIDICINE; NIEBLE, 1976; LAIRD, 2001).

Segundo Guidicine e Nieble (1976) a estabilidade de taludes se baseia na relação entre dois tipos de forças, as estabilizantes (resistentes) e as instabilizantes, ou decorrentes do peso da massa de solo. A razão entre essas duas forças é chamada de fator de segurança, com uso de fórmula apropriada (Equação 14). O FS pode ser calculado para identificar áreas suscetíveis a deslizamento de terra. Os dados referentes aos parâmetros do solo ângulo de atrito (ϕ), coesão (C) e peso específico do solo (γ) os valores do ângulo de declividade (β). A declividade e altura do talude são obtidos do levantamento topográfico feito com o VANT.

$$FS = \frac{\text{Esforços instabilizantes}}{\text{Esforços estabilizantes}} \quad \text{Equação (14)}$$

Um fator de segurança menor ou igual a 1 de acordo com a NBR 11.682/1991, indica a ruptura dos maciços, sendo considerado seguro o talude quando apresenta fator de segurança maior que 1,5 (ABNT, 1991).

Tabela 13 – Definição das classes de estabilidade baseada nos valores de FS

Condição	Classe	Estagio de predição
FS > 1.50	5	Áreas sem risco
1.30 < FS < 1.50	4	Áreas de risco baixo
1.15 < FS < 1.30	3	Áreas de risco médio
1.00 < FS < 1.15	2	Áreas de risco alto
FS < 1.00	1	Áreas na iminência de escorregamento

Fonte: Amaral e Fiori (2004).

Nesse trabalho o software utilizado para o cálculo do fator de segurança será o *slope/w* versão estudante.

- *Slope/w*

O *slope/w* é um dos softwares mais modernos, reconhecidos e utilizados no mercado de aplicações voltadas para a análise de estabilidade de taludes, fundamentando-se em análises

de Equilíbrio Limite e suas formulações, que se baseiam, principalmente, no método das lamelas. Tais análises foram desenvolvidas ainda no início do século XX, e desde então vêm sendo usadas para avaliar estabilidade de taludes na engenharia geotécnica. (MARANGON, 2017)

6.3 REFERÊNCIAS

AMARAL, C. e FIORI, A. P. Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruã, nas Proximidades do Falso Túnel. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos – SP, p. 164 – 172. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6.459**: Solo Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **NBR 7.180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b.

MARANGON, M. - UTILIZAÇÃO DE RECURSOS COMPUTACIONAIS EM GEOTECNIA Uso do programa SLOPE/W. Geotecnia de Fundações e Obras de Terra. Curso Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra, 2017.

POLIVANOV, H.; MOREIRA, R. F. Potencial erosivo de perfil de solo de talude de corte através de ensaios de Inderbitzen. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 32, 2018.

Caputo, H. P. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Volume I - 5a. Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro. 1980.

NBR 7181/84 – “Análise Granulométrica”. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.

DNER-ME 041/94 – “Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização.” Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.

CAPÍTULO 7

7. ÁREA DE ESTUDO

7.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ESTUDO

João Pessoa é a capital e principal centro econômico e financeiro do estado da Paraíba. Está localizada no extremo Leste do Estado e limita-se ao Norte com o município de Cabedelo, ao Sul com o município do Conde, ao Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita e ao Leste com o Oceano Atlântico (Figura 16).



Figura 16 - Localização da cidade de João Pessoa, PB.

O município de João Pessoa possui uma área de 211,475 km² e uma população estimada de 811.598 habitantes (IBGE, 2017). É a oitava cidade mais populosa da região e uma das capitais que mais cresce no Nordeste brasileiro. Apresenta um PIB per capita de R\$ 23.169,14 (IBGE, 2015) e um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,763 (IBGE, 2010). Sua economia é a maior economia do estado da Paraíba, representando 30,7% das riquezas produzidas no Estado.

O clima é tropical com temperatura média anual de 29 °C e pluviosidade média anual de 1.888 mm. O município de João Pessoa possui cerca de doze rios e os principais mananciais superficiais em operação são: Gramame, Mamuaba, Marés e o Mumbaba, com uma capacidade total de exploração da ordem de 3.320 L/s.

7.2 IDENTIFICAÇÃO DO RISCO

Como na maioria das cidades brasileiras, em João Pessoa houve um descompasso entre o crescimento urbano e o planejamento da cidade. O aumento do Produto Interno Bruto (PIB) e da população não foi acompanhado pela oferta de infraestrutura e serviços necessários. A concentração populacional aliada à falta de planejamento ocasionou e ainda ocasiona inúmeros problemas, entre eles, pode citar a ocupação de áreas sujeitas a risco.

No Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa (PARAÍBA, 2015), há indicação da existência de 48 pontos na cidade onde podem ocorrer problemas de movimentação de massa (Figura 17).

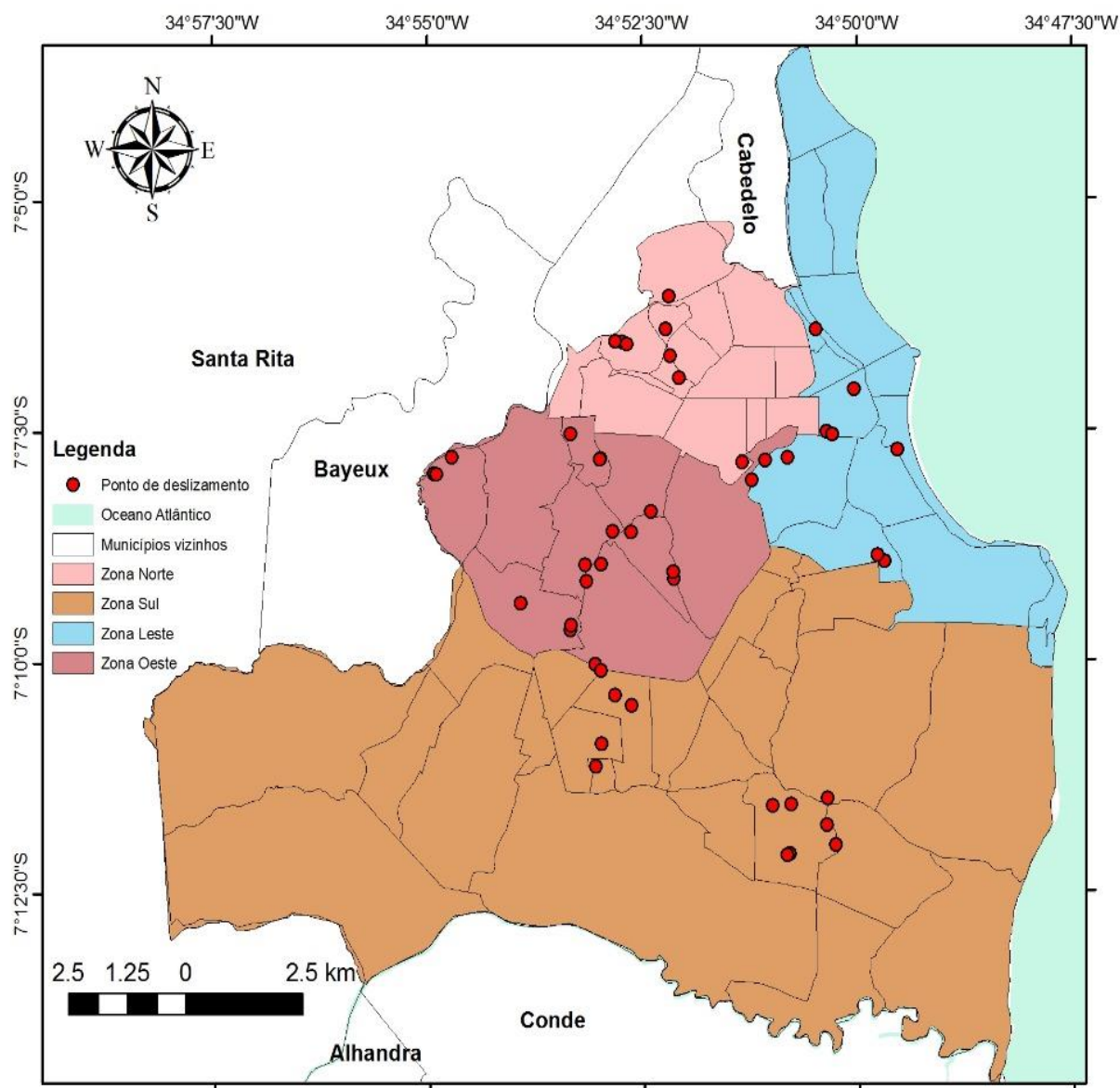


Figura 17 - Pontos de áreas propensas a movimentação de massa na zona urbana do município de João Pessoa.

Fonte: Paraíba (2015)

Para este estudo foram escolhidas cinco áreas (Tabela 14). A escolha dessas áreas se basearam em entrevistas realizadas com especialistas da UFPB e da Defesa Civil municipal.

Tabela 14: Áreas de Estudo

Área	Zona	Bairro	Comunidade	Rua/ Avenida	Coordenadas UTM	
					Latitude	Longitude
1	Oeste	Alto do Matheus	Ari Barroso	Ari Barroso	288503	9211127
2		Trincheiras	Saturnino de Brito	Saturnino de Brito	292018	9211927
3	Norte	Roger	Terra do Nunca	Monsenhor José Coutinho	293711	9213050
4		Torre		Minervino Bione	203510	9213492
5	Leste	Castelo Branco	Santa Clara	Joaquim Pedro da Silva	295558	9211402

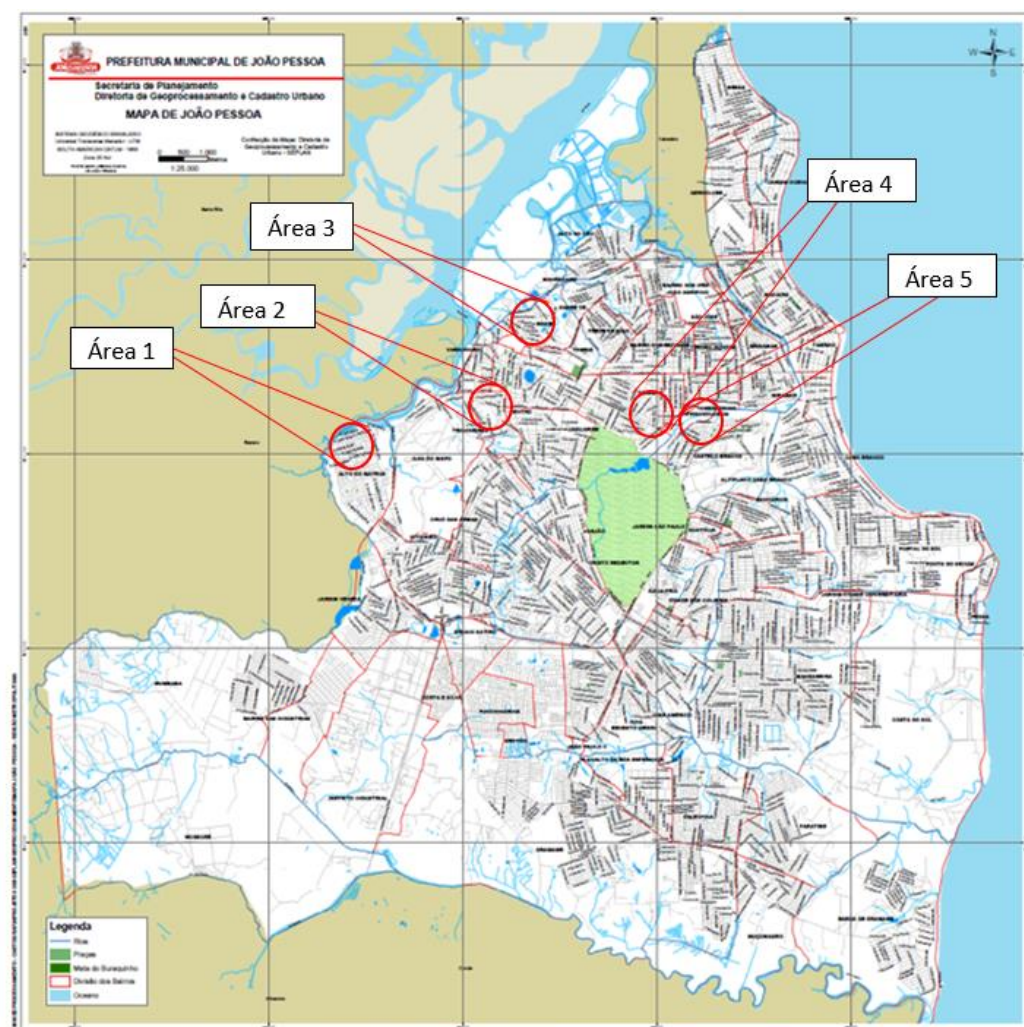


Figura 18 - Áreas de Estudo

Fonte: adaptado de PMJP/SEPLAN

7.3 REFERÊNCIAS

FILGUEIRA, H. J. A.; ROSENDO, E. E. Q.; LIMA, L.C.; BIAS, G. S. **DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAIS – COBERTURA DE ATENDIMENTO DAS ESTRUTURAS DE DRENAGEM – IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS: áreas passíveis de alagamentos; áreas passíveis de inundações; e, áreas sujeitas a escorregamentos.** PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PARAÍBA PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE JOÃO PESSOA – PARAÍBA. 2015.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Taxa de urbanização. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>> . Acesso em 15 de maio de 2019.

PMJP. Prefeitura Municipal de João Pessoa. Secretária de Planejamento. Diretoria de geoprocessamento e cadastro urbano. Mapa de João Pessoa. 2019.

CAPÍTULO 8

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são feitas, para todas as comunidades estudadas, as classificações dos riscos de desastres por movimento de massa de acordo com Brasil (2007) e análise de estabilidade de taludes.

8.1 AREA 1: COMUNIDADE ARI BARROSO

Com uma população atualmente superior a vinte mil habitantes, distribuída numa extensão de, aproximadamente, 660 ha, o Alto do Mateus pode ser classificado como um bairro pouco adensado demograficamente. O bairro limita-se através de suas fronteiras naturais ao Norte e Oeste com o município de Bayeux, onde o Rio Sanhauá contorna os dois municípios; ao Sul, se limita com o bairro dos Novais e ao Leste com a Ilha do Bispo (Figura 19). A comunidade Ari Barroso, conforme descrito na tabela 13 inserida nesse bairro.

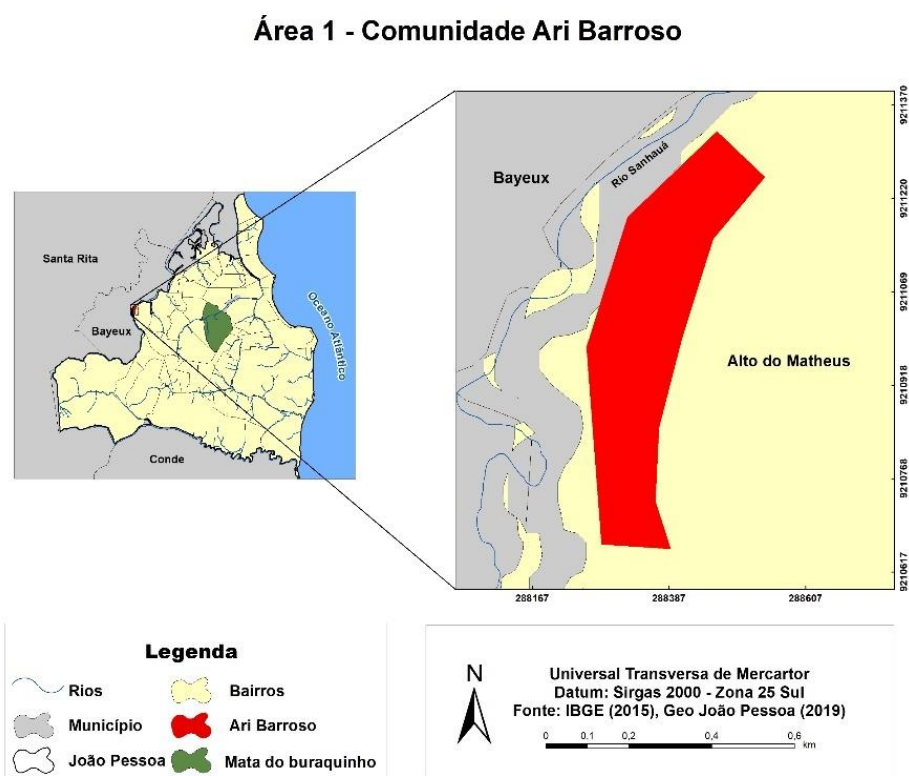


Figura 19 - Mapa de localização da Comunidade Ari Barroso, bairro Alto do Mateus.

O Plano de voo do VANT foi feito com o uso do *software drone deploy*, que cobriu uma área de 11 hectares, gerando 353 imagens. Teve duração de 24:12 minutos e utilizou duas bateria (Figura 20).



Figura 20 - Plano de voo: Área 1

Dos produtos obtidos pelo processamento aerofotogramétrico, dois se destacam na obtenção de medidas planimétricas e altimétricas: o ortomosaico (Figura 21) e o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 22).

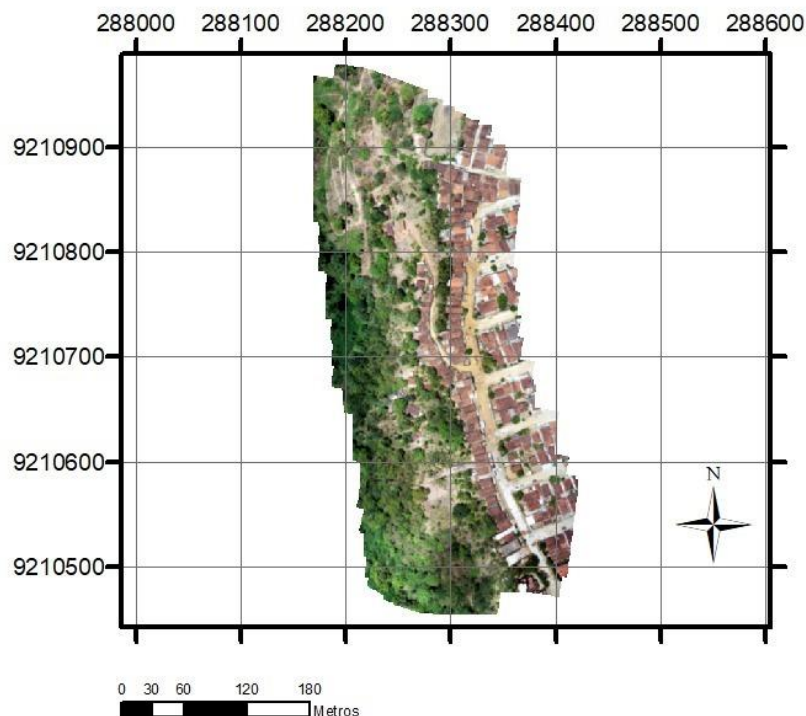


Figura 21- Ortomosaico Comunidade Ari Barroso.

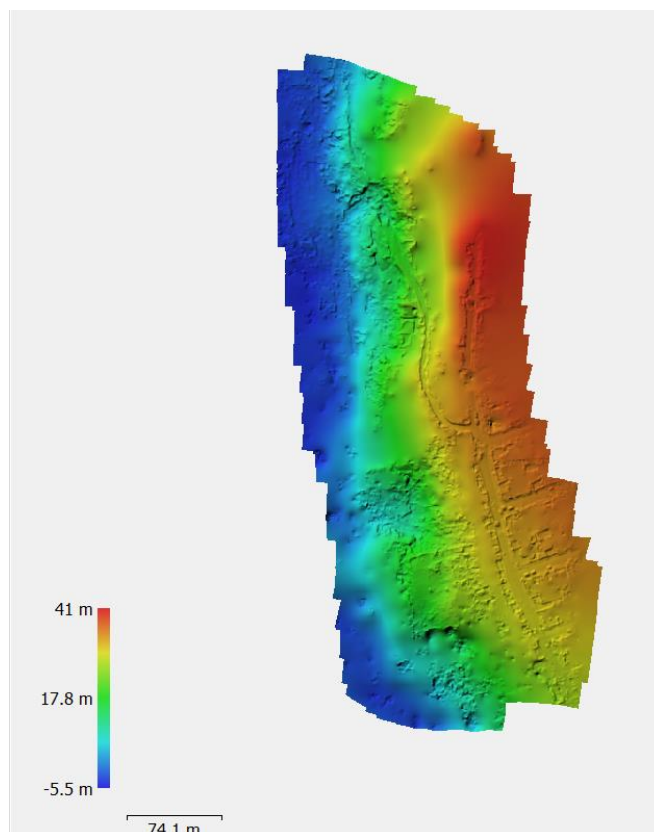


Figura 22 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.

8.1.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):

O acesso para a comunidade Ari Barroso se dá por via de barro em condições precárias (Figura 23), as casas são de alvenaria (Figura 24) e uma predominância do tipo residencial com ocorrência de pequenos estabelecimentos comerciais.



Figura 23 - Via de acesso da Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.



Figura 24 - Tipo de material construtivo: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.

Verificou-se que a comunidade está submetida ao talude do tipo natural. Com relação à distância das moradias ao topo do talude foram observadas várias situações de risco, agravadas pelo escoamento superficial das águas de chuva e águas servidas, ambos lançados diretamente na encosta. Foi detectada a presença de muito lixo e entulho, ao longo de todo o talude.



Figura 25 - Ausência do sistema de drenagem superficial: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.



Figura 26 - Lançamento da água servida no solo: Comunidade Ari Barroso, Bairro Alto do Mateus.

A Figura 27 apresenta o perfil transversal da comunidade Ari Barroso, por meio dele foi possível encontrar o comprimento horizontal (L) e a Amplitude (H).

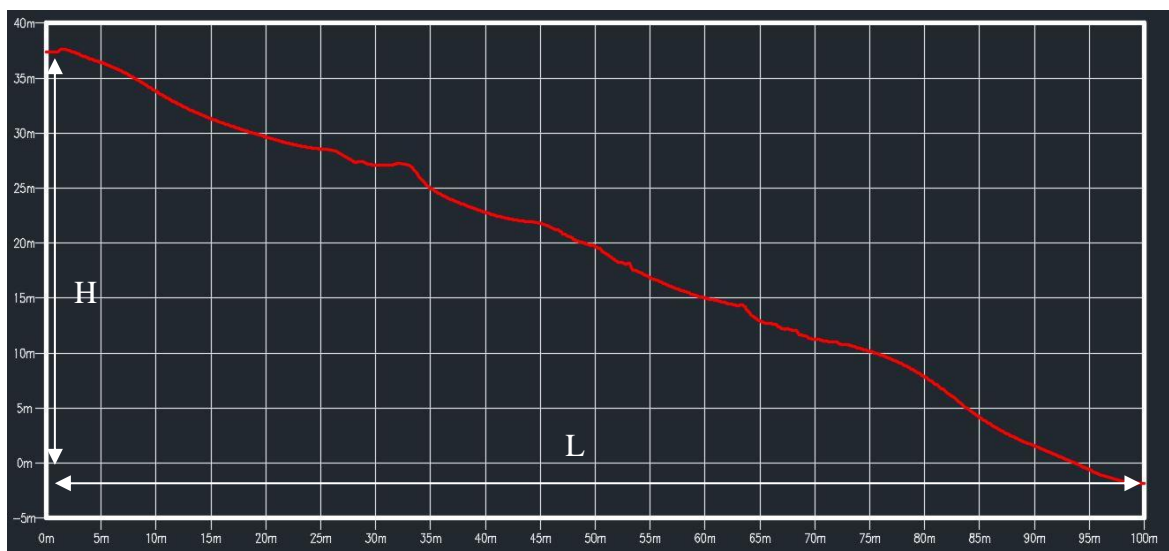


Figura 27 - Perfil transversal: Comunidade Ari Barroso

Dessa forma, com uso da Equação N° 15, calculou-se a declividade:

$$D(\%) = \left(\frac{38}{100} \right) * 100$$

$$\text{Portanto } D = 38\%$$

Por fim, calculou-se a inclinação, com uso da Equação N° 14:

$$\alpha = \arctan 38$$

$$\alpha = 21,5^\circ$$

O talude da Comunidade Ari Barroso possui inclinação maior que 17° portanto são passíveis de movimentações.

Detectou-se na comunidade degraus de abatimento no solo, no entanto, não ficou confirmado se é devido a sinais de movimento de massa ou se foi a própria população que os cavou.

Por fim, devido à proximidade das residências ao talude e a grande quantidade de água lançada superficialmente, conclui-se que o trecho analisado da Comunidade Ari Barroso enquadra-se no risco R3 – Alto (Tabela 12), e o local deve ser mantido em observação. É importante ressaltar que nem toda a comunidade apresenta o mesmo grau de risco.

8.1.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Para todas as áreas foi realizada a análise de estabilidade do talude, de modo a obter como resultado final o coeficiente de segurança das seções analisadas. O software Slope/w

da GeoStudio 2016, versão estudante, foi utilizado como ferramenta para essa análise, a qual foi realizada pelo método de Fellenius.

A partir da análise de granulometria constatou-se que comunidade Ari Barroso possui solo do tipo areia silto argilosa. Daí foi possível encontrar os valores de coesão, ângulo de atrito e peso específico aparente do solo do talude, colocando esses dados como entrada no software foi possível realizar a análise de estabilidade do talude.

As Figuras 28 e 29 mostram os resultados das análises realizadas com as respectivas superfícies de ruptura consideradas no cálculo. Encontrou-se, para esse talude, um fator de segurança de 1,32, enquadrando-se, segundo AMARAL e FIORI 2004 (Tabela 13), na classe 4, risco baixo.

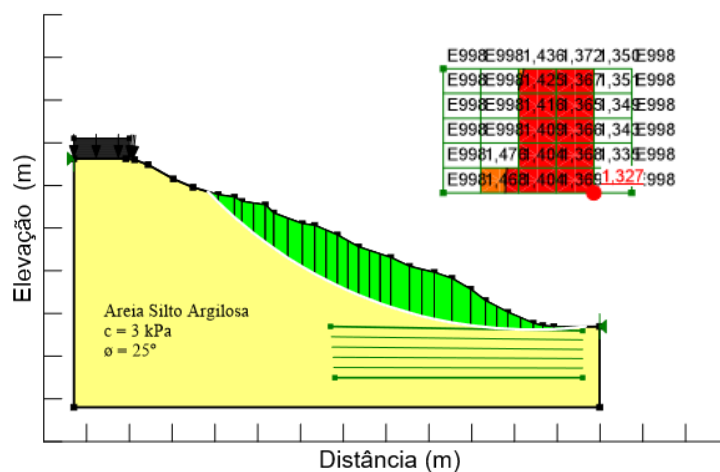


Figura 28 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Análise de estabilidade pelo método de Fellenius.

Importante ressaltar que os valores encontrados para fatores de segurança não dizem respeito ao solo saturado, indicando que esses valores poderiam ser ainda menores.

8.2 AREA 2: COMUNIDADE SATURININO DE BRITO

A comunidade Saturnino de Brito possui uma área de 4,8 hectares, composta de 378 domicílios e somando uma população estimada de 1.291 habitantes. Está localizada entre os bairros de Jaguaribe, Varadouro, Cruz das Armas e ilha do Bispo e fica entre dois taludes, caracteriza-se pela configuração espacial linear e pela ocupação desordenada dos topos e bases dos taludes. O surgimento desses dois taludes foi proporcionado pela topografia favorável, já que o local consistia em um berma do talude cortada para a implantação do

emissário de esgotos projetados e implantado no início do século XX, pelo Engenheiro Saturnino de Brito (TEIXEIRA, 2008).

Área 2 - Comunidade Saturnino de Brito

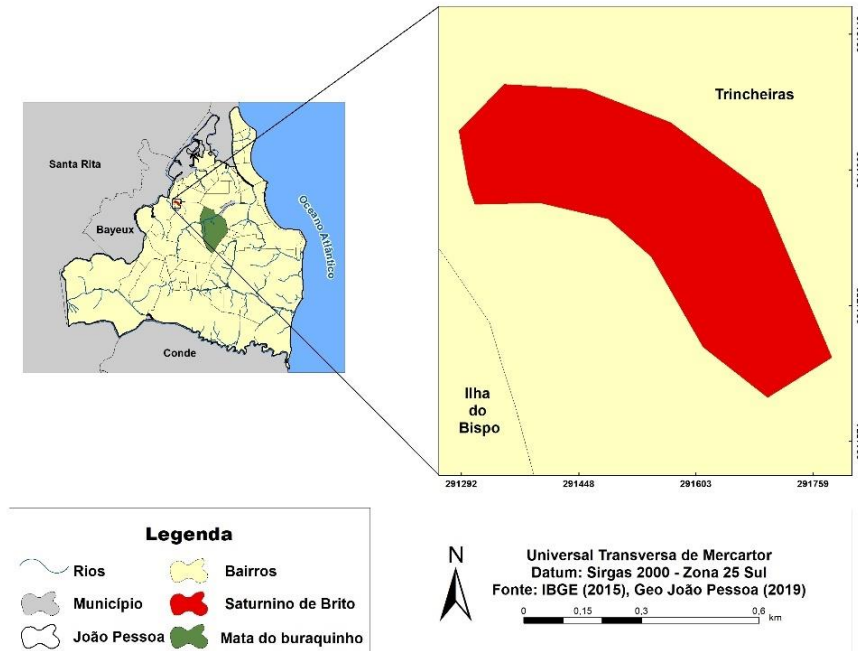


Figura 29 - Mapa de localização da Comunidade Saturnino de Brito.

O Plano de voo foi do VANT, cobriu uma área de 9 hectares, gerando 276 imagens. Teve duração de 18:47 minutos e utilizou duas bateria (Figura 30).



Figura 30 - Plano de voo - Área 2: Comunidade Saturnino de Brito, bairro Trincheiras.

Dos produtos obtidos pelo processamento aerofotogramétrico, dois se destacam na obtenção de medidas planimétricas e altimétricas: o ortomosaico (Figura 31) e o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 32).



Figura 31 – Ortomosaico: Comunidade Saturnino de Brito.

Escala 1:56m

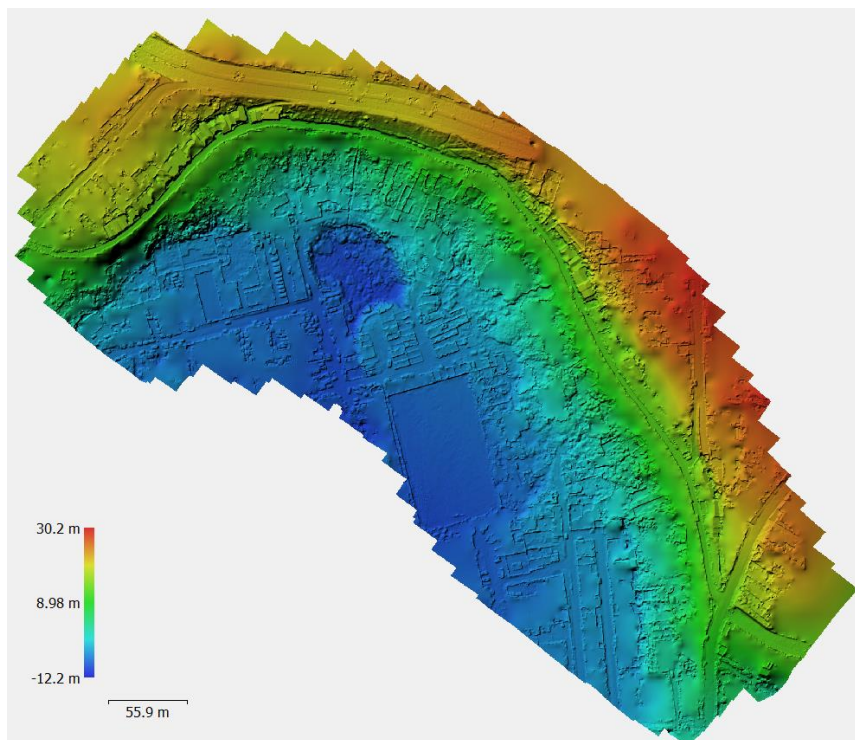


Figura 32 – MDS: Comunidade Saturnino de Brito

8.2.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):

No tocante a tipologia das construções domiciliares da comunidade foi verificado que todos são de alvenaria, o acesso acima do talude se dá por via asfaltada, no meio por via calçada em boas condições e na base por via de terra.



Figura 33 - Via de acesso: Comunidade Saturnino de Brito.



Figura 34 - Tipologia dos domicílios em alvenaria: Comunidade Saturnino de Brito.

O talude é do tipo natural de material do tipo solo proveniente da geologia local da formação barreiras. Na comunidade não se observou talude proveniente de aterros nem a presença de matacões.



Figura 35 - Panorâmica da comunidade Saturnino de Brito

A distância das moradias ao topo e base dos taludes é crucial para determinação do grau de risco que a moradia está sujeita, quanto mais próximo do talude maior será o risco. Nessa comunidade a distância encontrada variou de 0,5 m para 3 m.

Amplitude, perfil, declividade e inclinação são os principais elementos geométricos de uma encosta. A Figura 38 apresenta o perfil da comunidade Saturnino de Brito, por meio dele foi possível encontrar o comprimento horizontal (L) e a Amplitude (H).

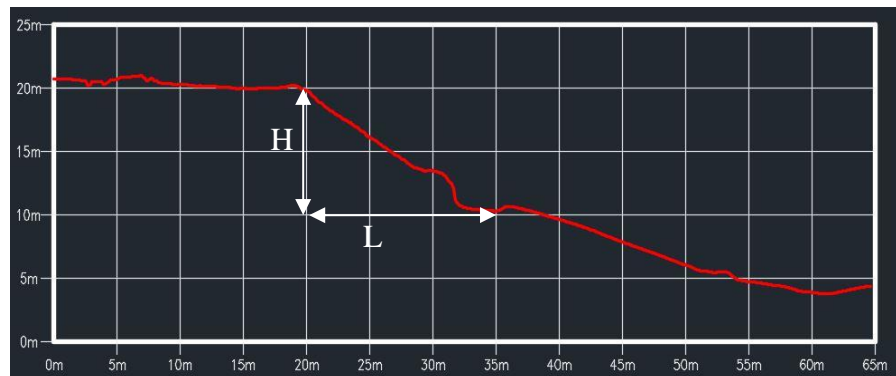


Figura 36 - Perfil transversal: Comunidade Saturnino de Brito.

Dessa forma, por meio da Equação Nº 15, calculou-se a declividade:

$$D(\%) = \left(\frac{10}{15} \right) * 100$$

$$\text{Portanto } D = 66,6\%$$

Por fim, calculou-se a inclinação, com uso da Equação Nº 14:

$$\alpha = \arctan 66,6$$

$$\alpha = 36^\circ$$

A água é uma das principais causas de escorregamento. No aglomerado estudado, apesar de haver esgotamento sanitário foi verificada situações em que a população lança águas servidas no talude da encosta.

Dependendo do tipo de vegetação, pode ser bom ou ruim para a segurança da encosta, na comunidade saturnino de brito, foi encontrada a presença vegetação rasteira e bananeiras (*musa sapientum*).

As feições de instabilidade são muito importantes para determinação do grau de risco, antes de ocorrer um escorregamento, a encosta dá sinais que está se movimentando. Em visita a área em estudo, foi identificado a inclinação de árvores, além de degraus no solo.

Após a vistoria *in loco* e avaliação, conclui-se que o trecho estudado da comunidade Saturnino de Brito enquadra-se no risco R3 – Alto (Tabela 12), e o local deve ser mantido em observação.

8.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

A Figura 38 mostra o resultado da análise realizada com as respectivas superfícies de ruptura consideradas no cálculo. Encontrou-se, para esse talude, um fator de segurança de 1,10, enquadrando-se, segundo AMARAL e FIORI 2004 (Tabela 13), na classe 2, risco alto.

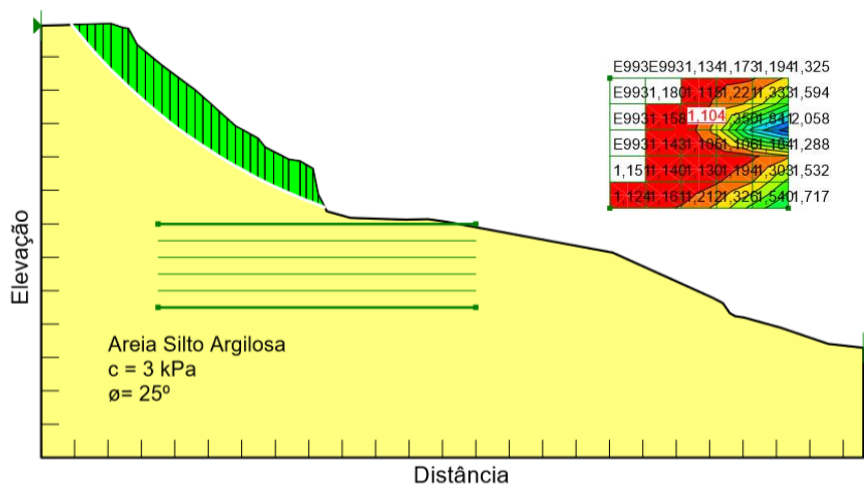


Figura 37 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Saturnino de Brito.

8.3 AREA 3: COMUNIDADE TERRA DO NUNCA

Essa área de estudo localiza-se no bairro do Roger, o bairro faz divisa ao Norte com o Varadouro, a Sudoeste com o Centro de João Pessoa, ao Sul e Leste com Tambiá, a Nordeste com Padre Zé e ao Norte com a área de manguezal do rio Paraíba (Figura 39).

Área 3 - Comunidade Terra do Nunca

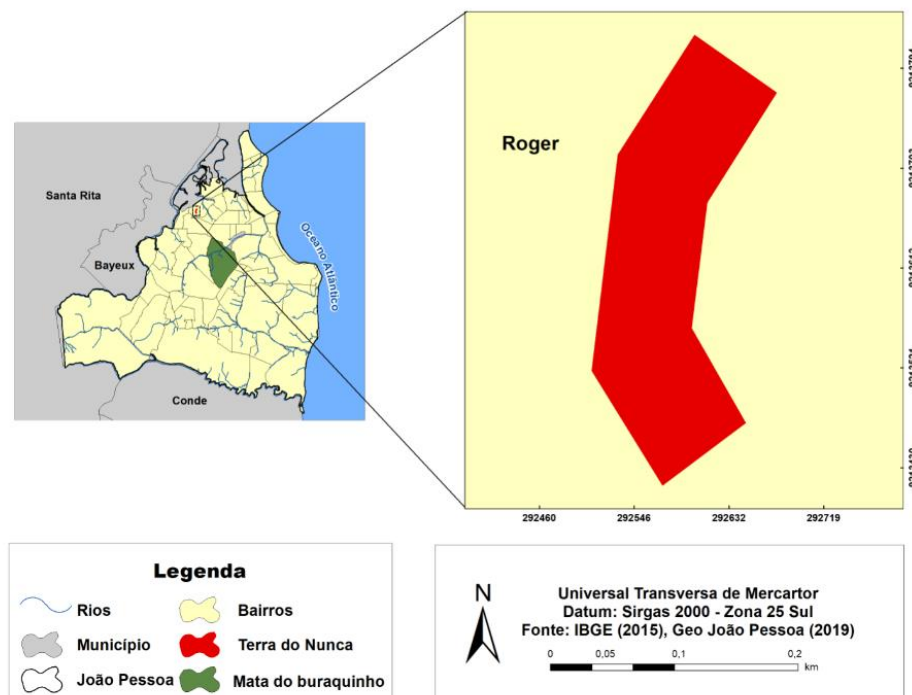


Figura 38 - Mapa de localização - Comunidade Terra do Nunca

Dos produtos obtidos pelo processamento aerofotogramétrico, dois se destacam na obtenção de medidas planimétricas e altimétricas: o ortomosaico (Figura 40) e o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 41).

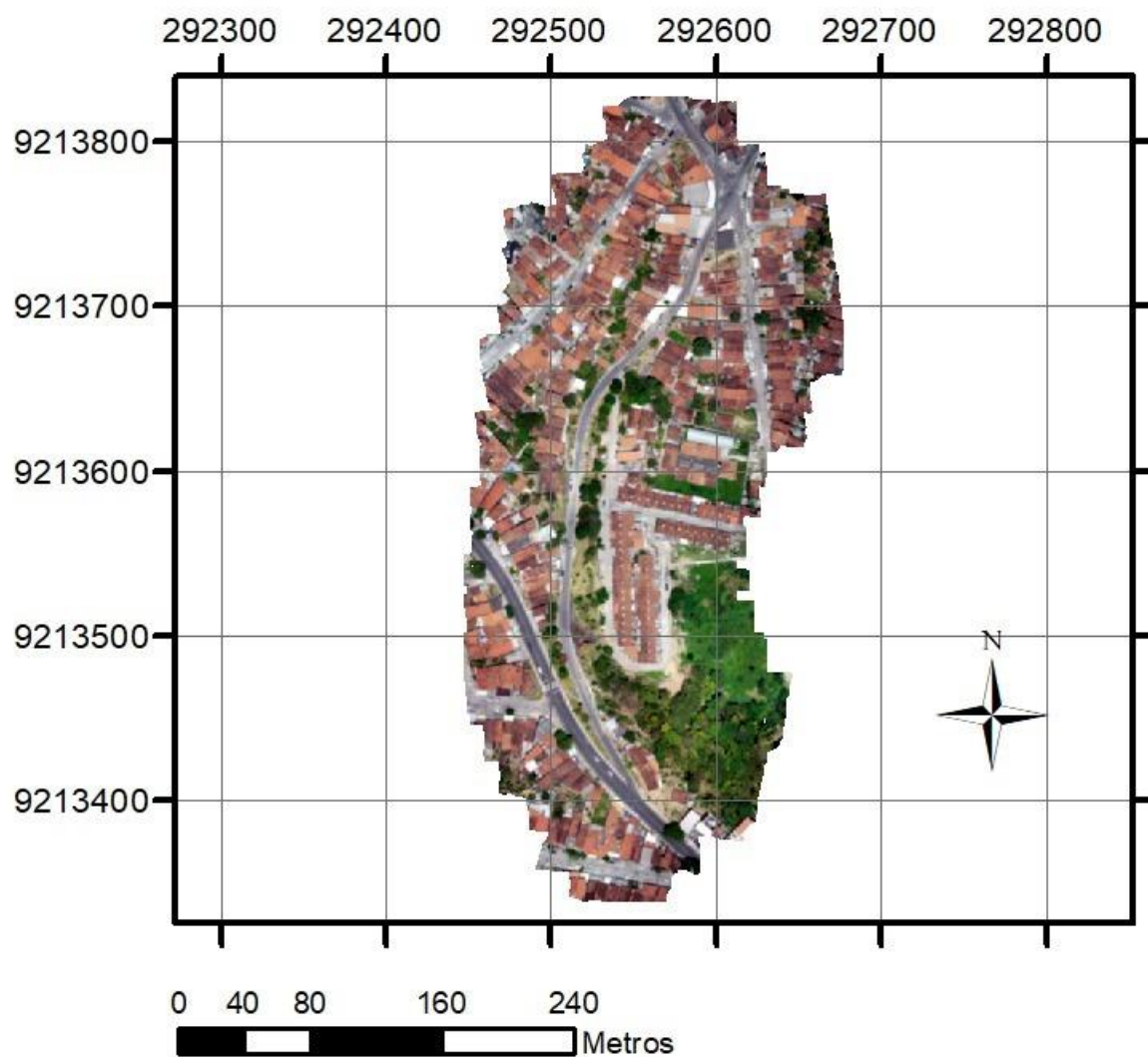


Figura 39 - Ortomosaico: Comunidade Terra do Nunca
Escala 1:57

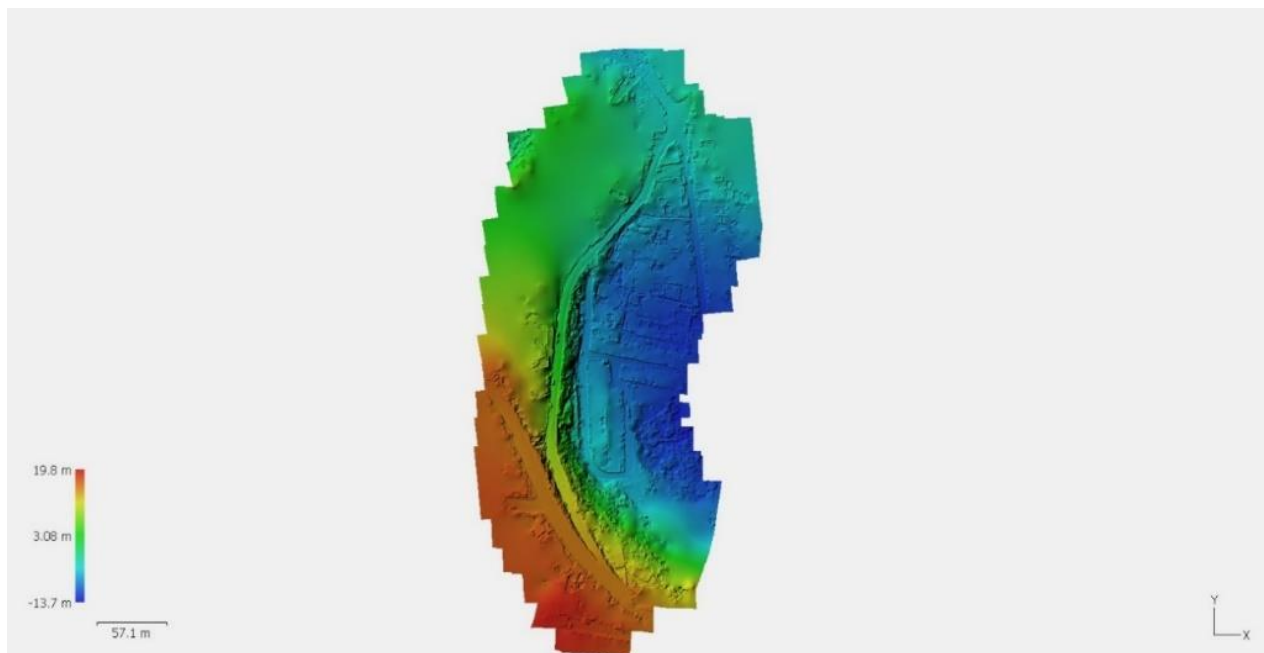


Figura 40 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.

8.3.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):

O acesso se dá por via asfaltada na parte de cima do talude e por via calçada na parte de baixo, ambas em boas condições e as residências estabelecidas ao longo do talude são de alvenaria (Figura 42)



Figura 41 - Vias de acesso e material de construção das moradias: Comunidade Terra do Nunca.

O talude é do tipo corte e o tipo de material é solo. Foi constatada a presença de muito lixo ao longo de todo talude (Figura 43).



Figura 42 - Presença de lixo no topo do talude: Comunidade Terra do Nunca.

Para o cálculo da declividade foi traçado um perfil transversal ao longo do ponto considerado o mais crítico. A imagem abaixo representa esse perfil (Figura 44)

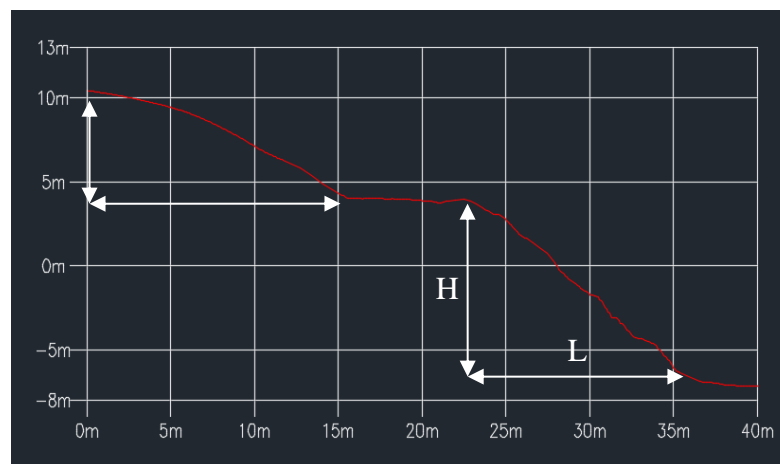


Figura 43 - Perfil transversal de elevação do terreno: Comunidade Terra do Nunca.

O talude inferior possui comprimento horizontal (L) igual a 13m e amplitude (H) igual a 11m, logo, de acordo a Equação N° 15 a declividade encontrada, foi : $D(\%) = \left(\frac{11}{13}\right) * 100$, logo $D = 84,6\%$ e, de acordo a Equação N° 14 a inclinação (α) = 38° .

Já o talude superior possui comprimento horizontal igual a 15 m e amplitude igual a 6 metros, logo a declividade encontrada, foi : $D(\%) = \left(\frac{6}{15}\right) * 100$, logo $D = 40\%$ e a inclinação (α) = $22,6^\circ$.

À distância das moradias ao topo do talude superior são críticas (Figura 45), já a distância das moradias a base do talude inferior é em média 6 metros.



Figura 44 – Distância da moradia ao topo do talude: Comunidade Terra do Nunca.

No que se refere à infraestrutura, a Comunidade é atendida com os serviços de abastecimentos de água, energia elétrica, coleta de resíduos sólidos, iluminação pública, e telefonia pública. O esgotamento sanitário é precário, foi constatado a presença de esgoto lançado a céu aberto, além disso o sistema de drenagem superficial é inexistente.



Figura 45 – Lançamento da água servida: Comunidade Terra do Nunca.



Figura 46 – Escoamento de água servida a céu aberto: Comunidade Terra do Nunca.

A encosta possui cobertura vegetal rasteira e algumas árvores de grande porte. É possível identificar os sinais de movimentação devido as trincas no asfalto e a inclinação das árvores e postes.



Figura 47 – Inclinação de árvores no talude: Comunidade Terra do Nunca.



Figura 48 – Sinais de movimentação - Trincas no asfalto: Comunidade Terra do Nunca.

Mesmo como todos os indícios de deslizamento de terra ficou evidente a falta de percepção do risco da população residente na área. Foi contatado que está sendo construído um imóvel no topo do talude inferior.



Figura 49 – Estacionamento no topo do talude inferior: Comunidade Terra do Nunca.

Após a análise tem-se que o trecho estudado da Comunidade Terra do Nunca enquadra-se no risco R4 – Muito alto (Tabela 12), e deve ser tomada uma providência imediata.

8.3.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Encontrou-se, para esse talude, um fator de segurança de 1,06, enquadrando-se, segundo AMARAL e FIORI 2004, na classe 2, risco alto.

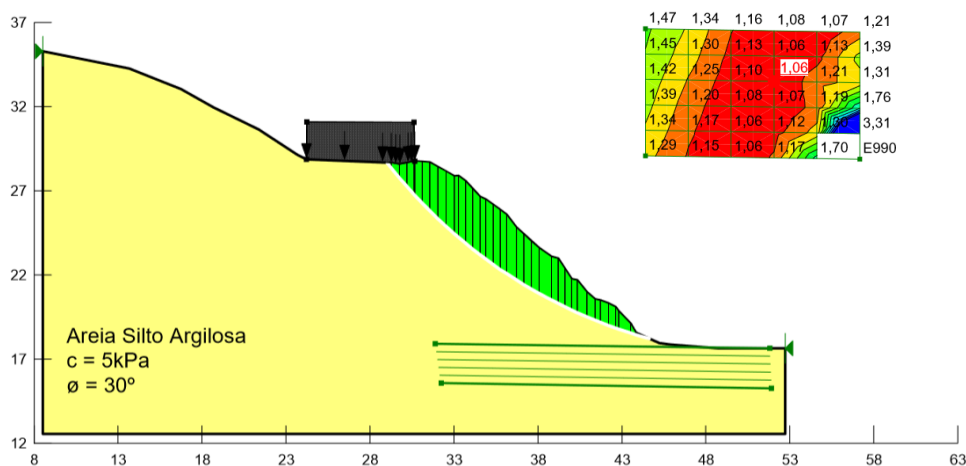


Figura 50 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Terra do Nunca.

8.4 ÁREA 4: MINERVINO BIONE

Essa área de estudo localiza-se no bairro da Torre, em João Pessoa (Figura 51). O bairro da Torre é um dos mais antigos e tradicionais de João Pessoa. Atualmente três corredores cortam o bairro (Av Eptácio Pessoa, Av. Beira Rio e Av. Pedro II), que tem uma localização privilegiada, uma vez que fica próximo do centro da cidade, da UFPB, da BR 230 e tem excelente acesso para a orla pessoense. É bem servido em diversos setores, tendo hospitais, redes de ensino, supermercados, comércio e serviços, igrejas, etc (OLIVEIRA, 2012).

Área 4 - Comunidade Minervino Bione

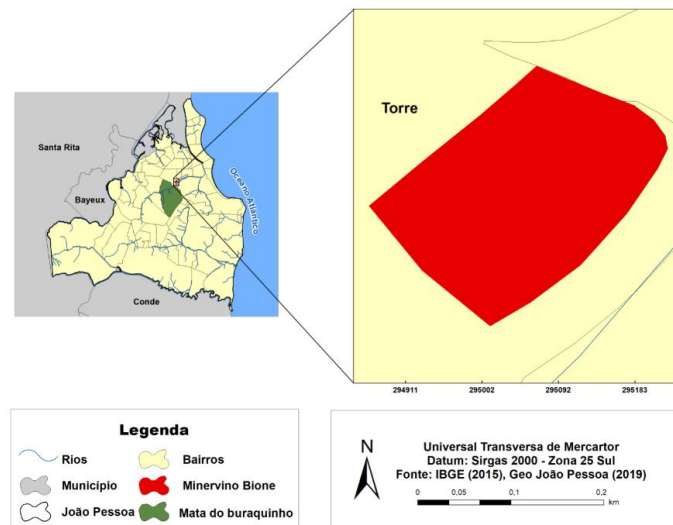


Figura 51 - Mapa de localização: Comunidade Minervino Bione.

O Plano de voo do VANT cobriu uma área de 8 hectares, gerando 245 imagens, teve duração de 14:34 minutos e utilizou apenas uma bateria (Figura 53).

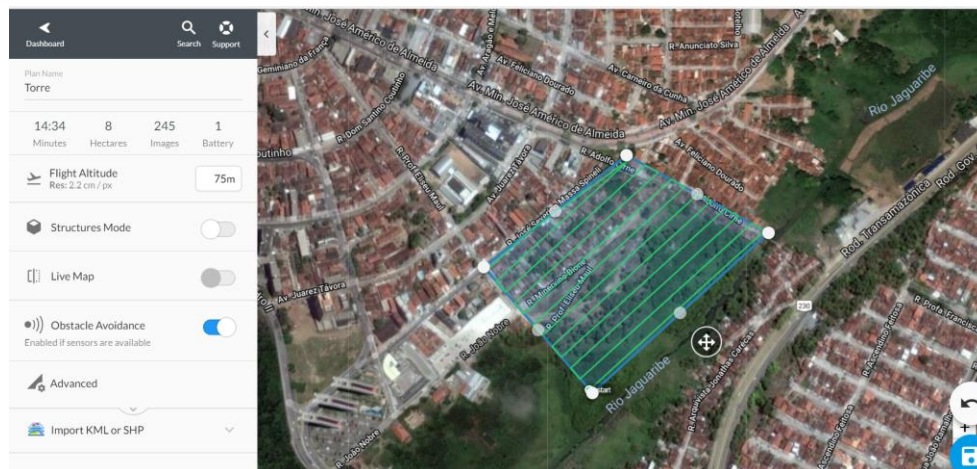


Figura 52 - Plano de voo - Área 4: Comunidade Minervino Bione.

Dos produtos obtidos pelo processamento aerofotogramétrico, dois se destacam na obtenção de medidas planimétricas e altimétricas: o ortomosaico (Figura 53) e o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 54).

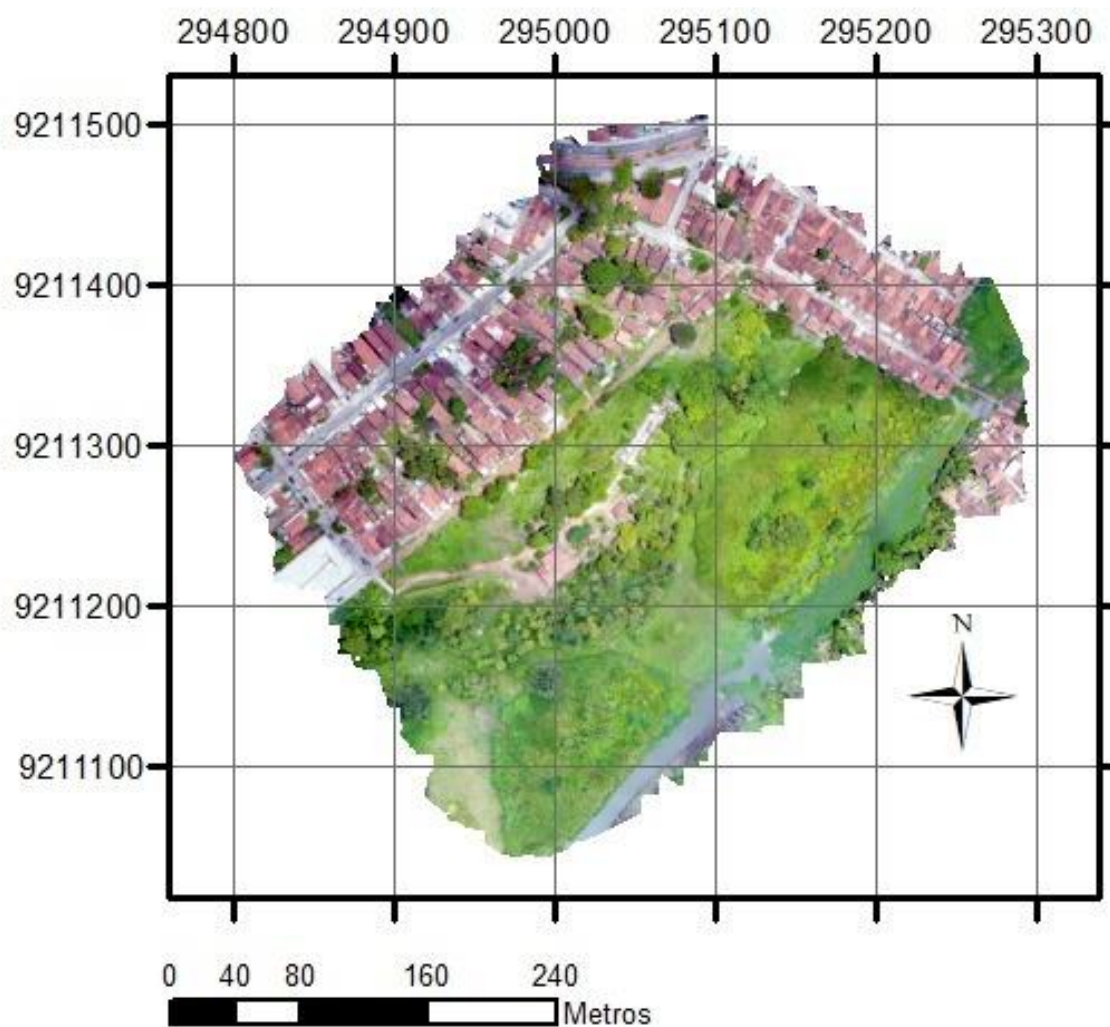


Figura 53 - Conjunto de imagens ortoretificadas: Ortomosaico - Comunidade Minervino Bione.

O ortomosaico, como apresentado na Figura 53, corresponde a um conjunto de imagens ortoretificadas por processos fotogramétricos alinhadas de forma que as dimensões planimétricas entre os elementos registrados conservam a proporção (escala) com os elementos.

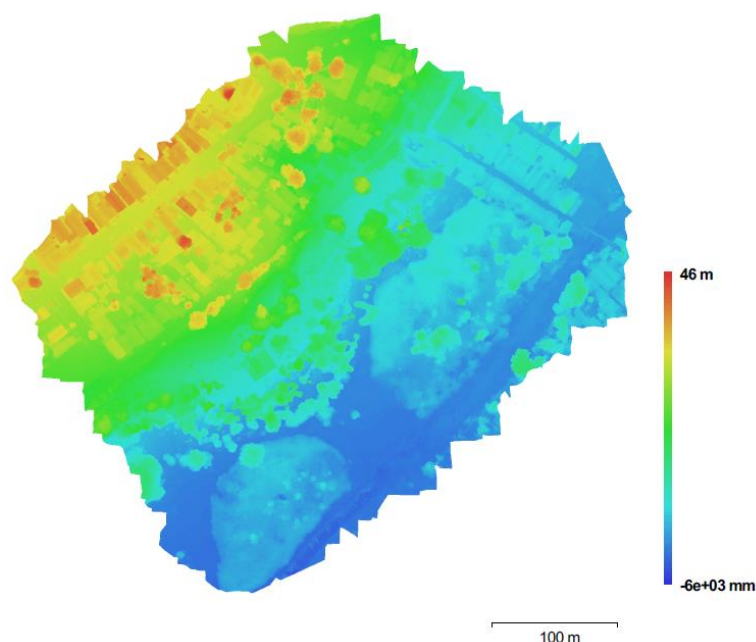


Figura 54 - Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.

O MDS representado na Figura 54, indica as informações de relevo (altitudes) em função de um gradiente de cores apresentado nos pixels da imagem, correspondendo as altitudes da superfície modelada e da mesma forma que o ortomosaico apresenta imagens ortoretificadas.

8.4.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):

O acesso se dá por via de terra em condições satisfatórias e as residências estabelecidas ao longo do talude são de alvenaria, como pode ser observado na Figura 14, o que representa uma sensação de maior segurança para as famílias residentes em termos de material de construção.



Figura 55 - Material de construção das moradias: Comunidade Minervino Bione.

A encosta é do tipo natural, porém é verificada a presença de cortes ao longo da sua extensão. Foi constatada a presença de entulhos (Figura 56).



Figura 56 - Presença de lixo no talude: Comunidade Minervino Bione

Para o cálculo da declividade foi traçado um perfil transversal ao longo do ponto considerado o mais crítico. A imagem abaixo representa esse perfil (Figura 57).

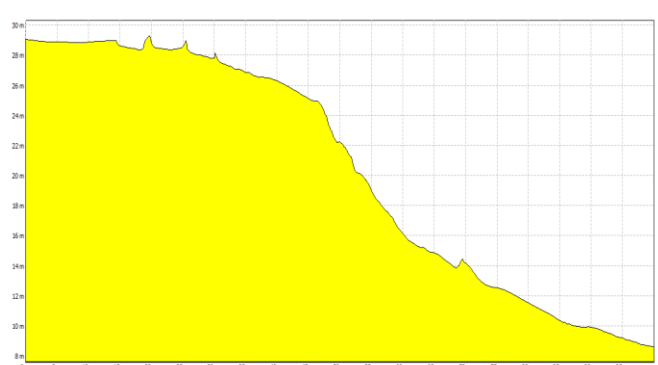


Figura 57 - Perfil transversal de elevação do terreno: Comunidade Minervino Bione

Tem-se que a amplitude (H) = 29 m e o comprimento (L) = 95 m, logo, a partir da Equação 15, tem-se que $D(\%) = \left(\frac{29}{95}\right) * 100$, portanto $D = 30,52\%$. Por fim, a partir da equação 14, a inclinação é $\alpha = \arctan 30,52$, portanto $\alpha = 17,1^\circ$

Em relação a distância foi encontrado que na parte de cima do talude a distância das moradias ao topo do talude é de 8 m já na parte de baixo essa distância é de 6 m. O Estado de São Paulo na execução do Plano Preventivo de Defesa Civil tem aplicado, ao menos em caráter provisório e enquanto estudos mais precisos não se estruturaram, a largura da faixa de segurança da ordem de uma vez a altura do talude (1:1) (BRASIL, 2007).

No que se refere à infraestrutura, a Comunidade é atendida com os serviços de abastecimentos de água, esgotamento sanitário, energia elétrica, coleta de resíduos sólidos, iluminação pública, e telefonia pública. No entanto, o sistema de drenagem superficial é inexistente. A encosta possui cobertura vegetal rasteira, foi verificada, ainda, a existência de pé de bananeiras, cajueiros, etc. A cultura da banana é tida como agente de instabilidade de taludes pelo fato de facilitar a infiltração da água. Em contrapartida, a bananeira é um tipo de cultura preferencial de populações que ocupam encostas, seja com o intuito de venda, mas também como fonte de alimento.

Observa-se sinais de movimento, as cicatrizes de deslizamentos, os sulcos erosivos. O talude apresenta as marcas de movimentações de massa anteriores e que, por falta de tratamentos para sua recuperação, avançam em oferecer risco para a população que reside em seu topo.

Representando medidas preventivas estruturais aplicadas em áreas de risco na Comunidade, a Figura 58 mostra a obra de contenção que foi construída.



Figura 58 - Muro de contenção: Comunidade Minervino Bione.

Constata-se, portanto, que o trecho estudado da comunidade Minervino Bione enquadra-se no risco R2 – Médio (Tabela 12), e o local deve ser mantido em observação.

8.4.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Encontrou-se, para esse talude, um fator de segurança de 1,11, enquadrando-se, segundo AMARAL e FIORI 2004, na classe 2, risco alto.

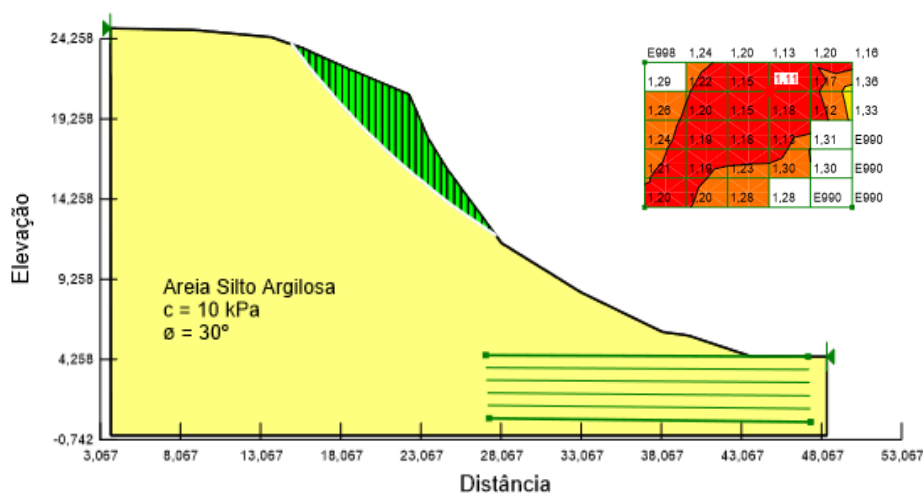


Figura 59 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Minervino Bione.

8.5 ÁREA 5: COMUNIDADE SANTA CLARA

A Comunidade Santa Clara compreende uma área de 7,2 há, está localizada no bairro Castelo Branco, em João Pessoa. Limita-se ao Norte, com o bairro Tambauzinho; à Leste, com a avenida São Rafael; ao Sul, com a rua Escritor Gilberto Amado; e à Oeste, com a rodovia BR-230 (Figura 60).

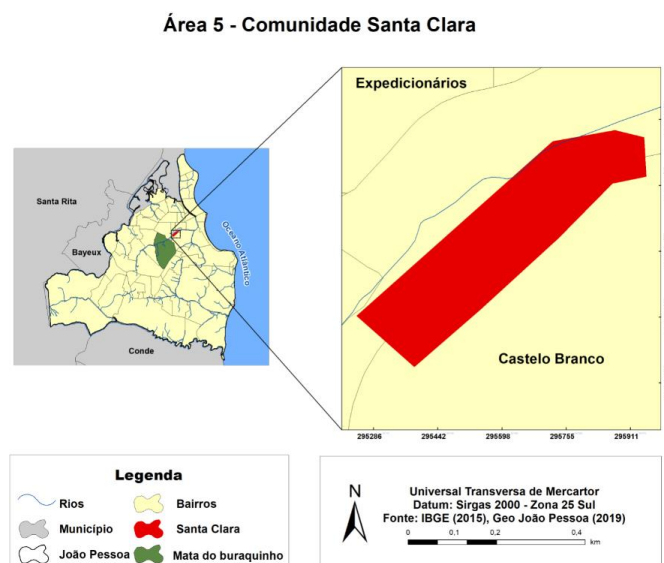


Figura 60 - Mapa de localização: Comunidade Santa Clara.

O seu processo de ocupação iniciou-se na década de 1970, de forma espontânea e desordenada. A ocupação na Comunidade Santa Clara teve início já em áreas sujeitas a risco de desastres, como em topo e sopé de taludes e nas margens de rios, no caso, o rio Jaguaribe

(MOURA, 2015). De acordo com o levantamento realizado no ano de 2013 pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, na Comunidade há o número de 400 residências e uma população de 1.729 habitantes. As famílias que lá se instalaram são de baixa renda e oriundas de bairros vizinhos e de outras cidades.

O Plano de voo cobriu uma área de 8 hectares, gerando 245 imagens, teve duração de 14:34 minutos e utilizou apenas uma bateria (Figura 61).

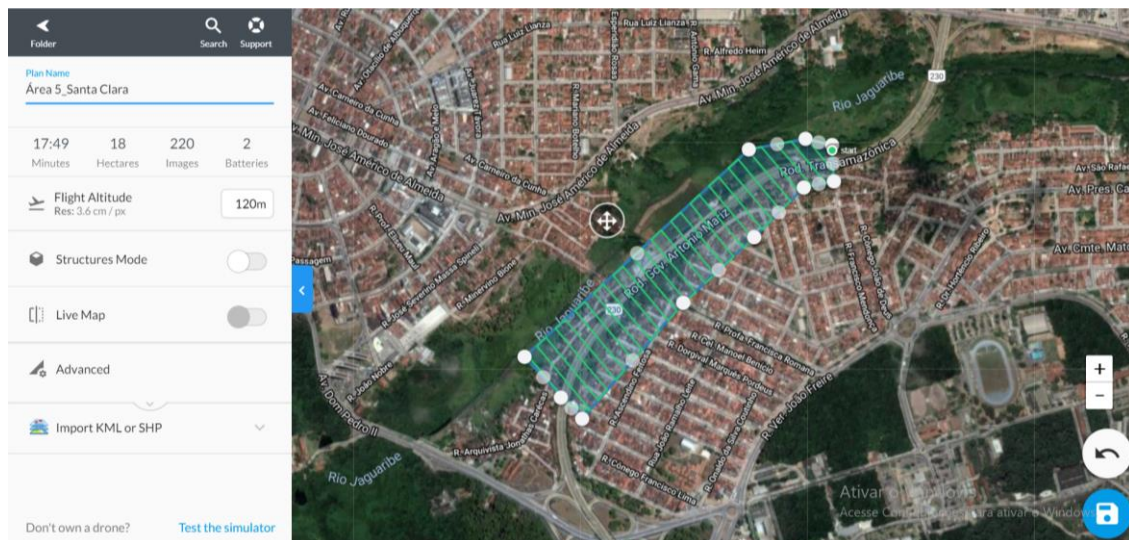


Figura 61 - Plano de Voo Área 5: Comunidade Santa Clara, bairro Castelo Branco.

As figuras 62 e 63 apresentam o ortomosaico e o MDS respectivamente.

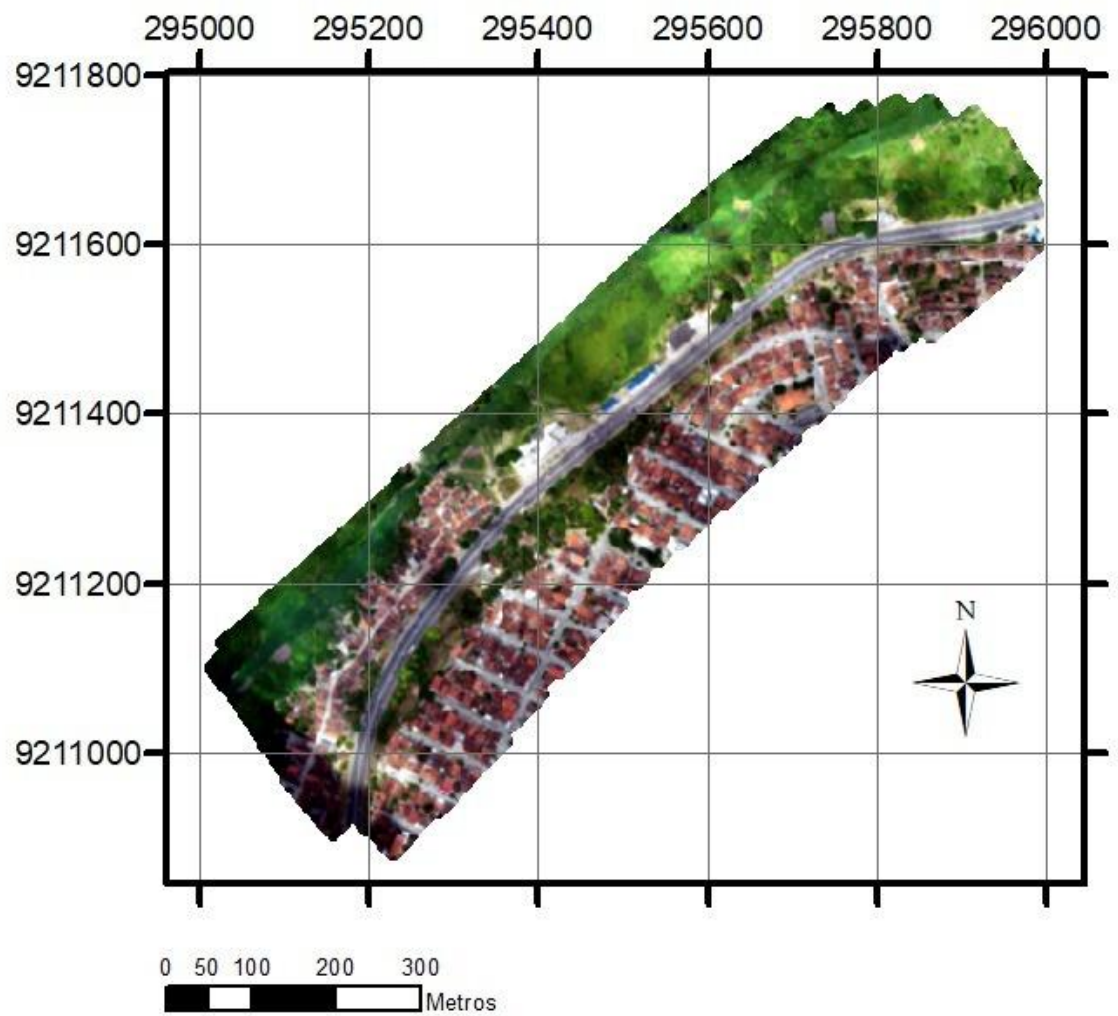


Figura 62 – Ortomosaico: Comunidade Santa Clara.

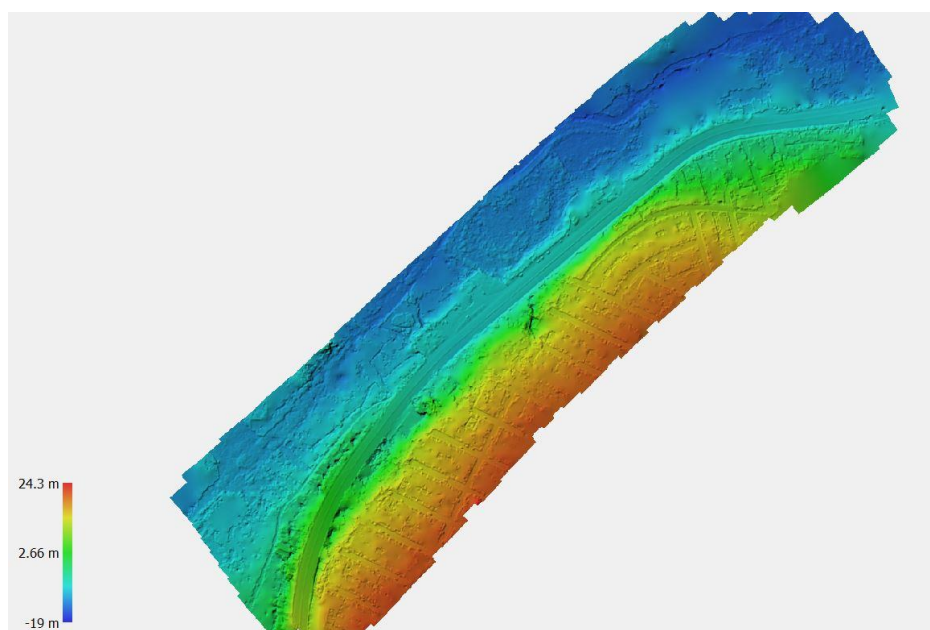


Figura 63 - Modelo digital de superfície: Comunidade Santa Clara.

8.5.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO DE DESASTRE POR MOVIMENTO DE MASSA DE ACORDO COM BRASIL (2007):

As residências estabelecidas ao longo do talude na Comunidade Santa Clara são de alvenaria e o acesso se dá por via calçada em bom estado. (Figura 64).



Figura 64 - Via de acesso e tipo de moradia: Comunidade Santa Clara.

O talude é do tipo natural e o tipo de material é solo. Foi encontrado a presença de entulho ao longo do talude (FIGURA 65).



Figura 65 - Presença de entulho no talude: Comunidade Santa Clara.

É impactante a vulnerabilidade da população da Comunidade quanto à distância das moradias ao topo do talude (Figura 66). Além disso, a distância da base do talude para a BR 220 é mínima, o que coloca em risco as pessoas que circulam por ali.

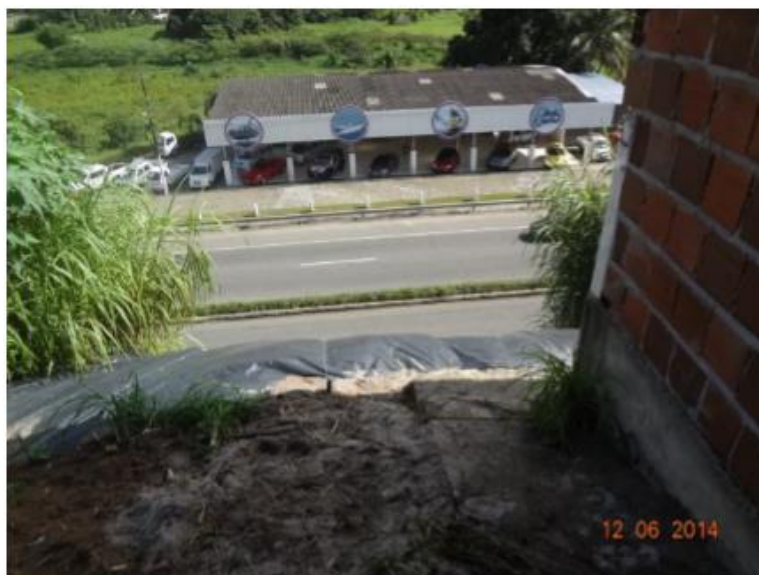


Figura 66 - Distância da moradia para o talude: Comunidade Santa Clara.
Fonte: COMPDEC - JP, 2014..

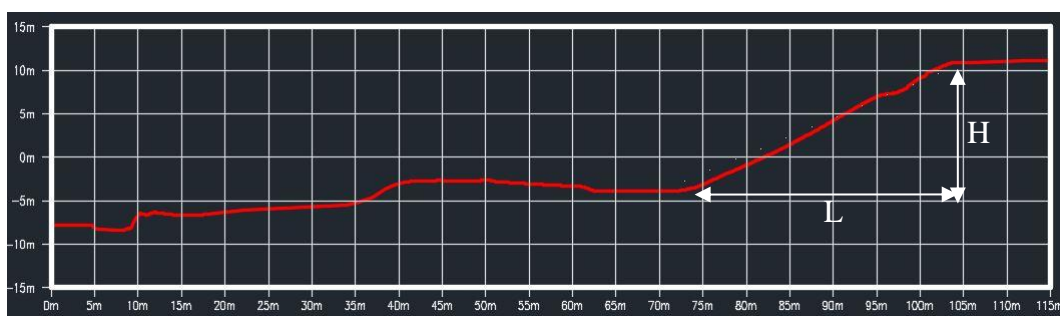


Figura 67 - Perfil transversal: Comunidade Santa Clara.

O perfil do talude indica um comprimento horizontal (L) igual a 30m e amplitude (H) igual a 16m, logo a declividade encontrada, foi : $D(\%) = \left(\frac{16}{30}\right) * 100$, logo $D = 53,3\%$ e a inclinação (α) = 38° .

É na estação chuvosa que os processos erosivos são intensificados na Comunidade Santa Clara. O sistema de drenagem pluvial, que contava unicamente com uma canaleta de drenagem superficial, entre a casa e a borda do talude, foi interrompido pela construção das

residências, o que faz com que a água, que antes escoava, se acumule e sature o solo. Esse processo cria cicatrizes tendenciosas a erosão. Além disso, verificou-se o lançamento de águas servidas sobre a encosta (Figura 68).



Figura 68 – Lançamento de águas servidas sobre a encosta

Foi identificada, ao longo da encosta, a presença de bananeiras e outras espécies vegetais, além de vegetações rasteiras.

Detectou-se, na encosta, cicatrizes de deslizamentos (Figura 69). Essas marcas comprovam movimentações de terra anteriores, movimentações essas que se enquadram como escorregamentos (*slides*).



Figura 69 - Cicatrizes de deslizamentos na encosta no km 19 da BR-230.

Constata-se, portanto, que o trecho estudado da comunidade Santa Clara enquadra-se no risco R4 – Muito alto (Tabela 12), e recomenda-se a remoção imediata da população que se encontra no topo do talude.

8.5.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Encontrou-se, para esse talude, um fator de segurança de 0,90, enquadrando-se, segundo AMARAL e FIORI 2004, na classe 1, risco muito alto.

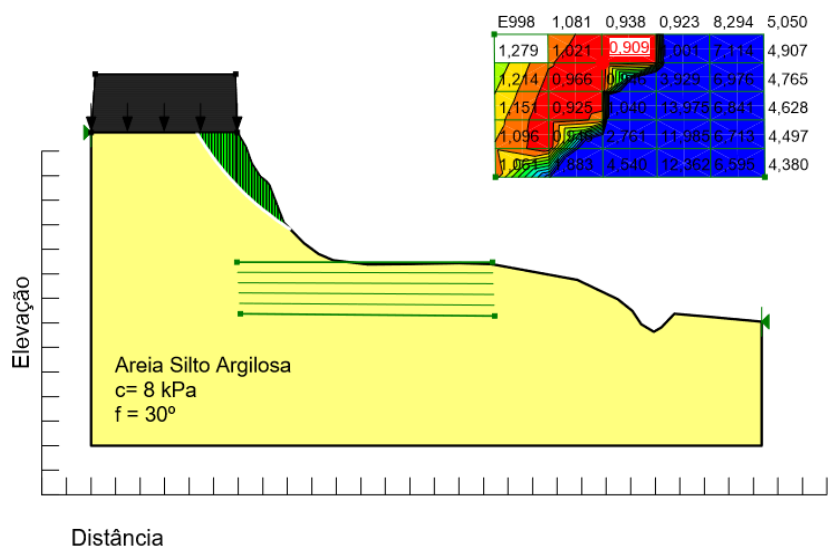


Figura 70- Análise de estabilidade pelo método de Fellenius: Comunidade Santa Clara.

8.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS E ANÁLISES

As análises realizadas, que foram baseadas nas medições efetuadas no período de fevereiro de 2018 a março de 2019, sobre risco geológico e coeficiente de segurança, proporcionaram a obtenção de resultados esclarecedores relativos aos objetivos formulados para esse trabalho.

8.6.1 RISCOS GEOLÓGICOS DE DESASTRE

Em relação ao grau de risco geológico das cinco áreas estudadas duas se enquadraram como R4, Risco muito alto, duas em R3, Risco alto e uma em R2, Risco médio (Tabela 15). Deves ser lembrado que a avaliação é referente apenas aos trechos analisados das

comunidades, e que nem toda a comunidade apresenta a mesma classificação de grau de risco.

Tabela 15 – Grau de Risco Geológico: Comunidades estudadas.

Área	Grau do Risco Geológico
1 - Ari Barroso	R3 - Risco Alto
2 - Saturnino de Brito	R3 - Risco Alto
3 - Terra do Nunca	R4 - Risco Muito Alto
4 - Minervino Bione	R2 - Risco Médio
5 - Santa Clara	R4 - Risco Muito Alto

Os subindicadores que mais influenciaram nessa classificação foram: a inclinação da encosta, as distâncias para o topo ou base do talude, presença de água e presença de sinais de movimentação.

As comunidades Terra do Nunca e Santa Clara apresentaram a pior situação, indicando que ambas necessitam de providências urgentes.

- **ESTABILIDADE DO TALUDE**

Em relação ao coeficiente de segurança uma área foi classificada como R1, risco muito alto, três como R2, risco alto e uma como R4, risco baixo (Tabela 16).

Tabela 16 – Grau de Risco: Comunidades estudadas.

Área	Fator de Segurança	
	FS	Classe
1 - Ari Barroso	1,32	R4 – Risco Baixo
2 - Saturnino de Brito	1,10	R2 – Risco Alto
3 - Terra do Nunca	1,06	R2 – Risco Alto
4 - Minervino Bione	1,11	R2 – Risco Alto
5 - Santa Clara	0,90	R1 – Risco Muito Alto

- **ANÁLISE INTEGRADA**

Na análise integrada dos riscos, determinada a partir das duas metodologias, foram consideradas as avaliações conjuntas do Risco geológico e do Fator de segurança, optando-se pela consideração de uma só avaliação, se coincidentes; ou avaliação dupla contemplando classificações se situadas nas escalas vizinhas (ex. Alto a Muito alto); ou a maior classificação, se houver discrepância entre as classificações.

Assim, constatou-se que entre as áreas estudadas, uma é de Risco Muito alto, duas com Risco alto e outra com o Risco médio a Alto (Tabela 17).

A área classificada como risco Muito alto é a comunidade Santa Clara. Para este aglomerado aconselha-se a retirada imediata da população mais próxima do talude, além do isolamento da pista da rodovia BR-101 na base do talude.

A comunidade Terra do Nunca também deve ser alvo de ações urgentes visando a atenuação dos riscos, haja vista a ocorrência do grau do Risco Geológico classificado como Muito alto.

Tabela 17 – Grau de risco integrado: Comunidades estudadas

Área	Grau do Risco Geológico	Grau do Risco Fator de Segurança	Avaliação conjunta do Risco
1 - Ari Barroso	R3 - Alto	4 - Baixo	Alto
2 - Saturnino de Brito	R3 - Alto	2 - Alto	Alto
3 - Terra do Nunca	R4 - Muito alto	2 - Alto	Alto a Muito alto
4 - Minervino Bione	R2 - Médio	2 - Alto	Médio a Alto
5 - Santa Clara	R4 - Muito alto	1 – Muito alto	Muito alto

Como esperado, não deveria ter havido concordância em todas as classificações de riscos uma vez que as metodologias utilizadas diferem na sua concepção.

Deve ser destacado que o risco indicado pelo fator de segurança se refere a apenas uma seção transversal da encosta, suposta como a mais propensa ao movimento de massa.

Por outro lado, o método qualitativo se baseia no julgamento técnico e pessoal para a definição de áreas propensas a deslizamento, com base em critérios que não envolvem apenas as condições geotécnicas desfavoráveis.

8.7 REFERÊNCIAS

BEZERRA, T. P. Condições de moradia e de saneamento básico em domicílios atendidos pelo programa PIMC no semiárido do estado da Paraíba. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Paraíba. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades, Secretaria de Programas Urbanos. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. Ministério das Cidades, Universidade Federal de Santa Catarina/Centro de Estudos e Pesquisa sobre Desastres, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.

MARTINS, P. D.; MAIA, D. S. A produção do espaço e da paisagem da avenida epitácio pessoa, João Pessoa – PB. v.7, n 10. 2015.

NASCIMENTO, M. O. T. Riscos de deslizamentos e inundações e condições de moradias em aglomerados subnormais na bacia do rio Sanhauá: avaliação e análise integrada. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba. 2009.

SOARES, F. L.; MORAIS, G. S.; DIAS, S.P. Mapeamento De Área Em Risco De Deslizamento E Análise De Estabilidade De Talude Na Cidade De João Pessoa-PB. XII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil ABMS. 2017.

RODRIGUES, E. C. Transformação do espaço urbano na comunidade Saturnino de Brito em João Pessoa – PB. 2014.

CAPÍTULO 9

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas aplicações de duas metodologias para classificação de riscos de movimento de massa em cinco comunidades da cidade de João Pessoa.

Utilizou-se um novo método para o mapeamento das áreas, com uso de VANT, o que permitiu a sistematização das variáveis envolvidas, possibilitando a obtenção de resultados com maiores rapidez e precisão.

A análise integrada dos riscos foi realizada por meio de procedimento elaborado a partir das duas metodologias consideradas conjuntamente, com os critérios definidos segundo os graus de ocorrências dos riscos, uma vez que nem sempre indicam graus semelhantes.

Os resultados apontaram riscos geológicos classificados como Alto a Muito Alto em quatro das comunidades estudadas e Médio na comunidade Minervino Bione.

Com exceção da Comunidade Ari Barroso, o fator de segurança indicou riscos variando de Alto a Muito Alto.

A área classificada como risco Muito alto é a comunidade Santa Clara. Para este aglomerado aconselha-se a retirada imediata da população mais próxima do talude, além do isolamento da pista da rodovia BR-101 na base do talude.

A comunidade Terra do Nunca também deve ser alvo de ações urgentes visando a atenuação dos riscos, haja vista a ocorrência do grau do Risco Geológico classificado como Muito alto.

9.2 SUGESTÕES

Tendo em vista a importância do tema para a engenharia urbana e ambiental, e para a gestão do risco nas cidades, são recomendados o desenvolvimento de estudos e pesquisas a seguir:

- Realizar estudos sobre políticas públicas aplicadas a medidas estruturais para contenção de áreas vulneráveis a risco, além da avaliação custo-benefício para execução dessas contramedidas estruturais;
- Que os órgãos de gestão urbana realizem de forma dinâmica e sistemática o mapeamento de todas as áreas vulneráveis a risco de desastres nas cidades brasileiras;
- A comunidade Santa Clara, onde o risco encontrado foi o mais alto, deve ser objeto de observação e monitoramento mais intenso pelos órgãos responsáveis, como defesa civil, em ação conjunta com a população e outras instituições.

9.2 REFERÊNCIAS

AMARAL, C. e FIORI, A. P. Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruña, nas Proximidades do Falso Túnel. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos – SP, p. 164 – 172. 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades, Secretaria de Programas Urbanos. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. Ministério das Cidades, Universidade Federal de Santa Catarina/Centro de Estudos e Pesquisa sobre Desastres, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007.

DIAS, L. S. O. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTO DE TERRA UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2006.

NASCIMENTO, M. O. T. Riscos de deslizamentos e inundações e condições de moradias em aglomerados subnormais na bacia do rio Sanhauá: avaliação e análise integrada. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba. 2009.