



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

CARLOS DE OLIVEIRA BISPO

**SUSCETIBILIDADE NATURAL E INDUZIDA À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ, ALAGOAS**

**Recife
2018**

CARLOS DE OLIVEIRA BISPO

**SUSCETIBILIDADE NATURAL E INDUZIDA À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ, ALAGOAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia – UFPE, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Regionalização e Análise Regional

Linha de Pesquisa: Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Danielle Gomes da Silva

Coorientadora: Prof.^{ra}. Dr.^a. Nivaneide Alves de Melo Falcão.

**Recife
2018**

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

B622s Bispo, Carlos de Oliveira.
Suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, Alagoas / Carlos de Oliveira Bispo. – 2018.
115 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Prof^ª. Dr^ª. Danielle Gomes da Silva.
Coorientadora : Prof^ª. Dr^ª. Nivaneide Alves de Melo Falcão.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2018.
Inclui referências e apêndices.

1. Geografia. 2. Crescimento urbano. 3. Desastres ambientais. 4. Mapas – Álgebra. 5. Expansão urbana. I. Silva, Danielle Gomes da Silva (Orientadora). II. Falcão, Nivaneide Alves de Melo (Coorientadora). III. Título.

918 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-177)

CARLOS DE OLIVEIRA BISPO

**SUSCETIBILIDADE NATURAL E INDUZIDA À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ, ALAGOAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 27/02/2018.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Danielle Gomes da Silva (Orientadora – Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Kleython de Araujo Monteiro (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

Aos meus pais, Olga e José

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as experiências que tem me proporcionado, fortalecendo minha fé e me fazendo persistir, mesmo diante das adversidades.

Aos meus familiares pelo apoio e compreensão, especialmente aos meus pais, José de Oliveira Bispo e Olga Lúcia de Oliveira Ferro, agradeço a minha querida irmã, Maria Cícera de Oliveira Ferro, pelo amor incondicional, carinho e preocupação, e, aos demais irmãos e sobrinhos.

Minha gratidão aos amigos, não irei nomear, pois, os verdadeiros já sabem que têm um lugar especial em meus pensamentos e o quanto suas presenças foram essenciais ao longo do desenvolvimento deste trabalho de dissertação de mestrado.

Agradeço a Prof^a. Dr^a. Danielle Gomes da Silva pela orientação neste trabalho, assim como a Prof^a Dr^a. Nivaneide Alves de Melo, pelo incentivo desde a graduação, e pela coorientação neste trabalho de dissertação de mestrado.

Aos Professores, Dr. Fabrizio de Luiz Rosito Listo e Dr. Kleython de Araujo Monteiro por terem aceitado participar da banca examinadora deste trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudos do Quaternário do Nordeste do Brasil/Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (GEQUA), pelas brincadeiras, sugestões e contribuições científicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFPE), pela viabilização do mestrado.

A Coordenadoria Municipal de Defesa Civil – COMDEC – Maceió, pela parceria no decorrer das atividades de campo inerentes a esta dissertação.

Enfim, a todos que de certa forma torcem por mim, saudações geográficas!

RESUMO

A expansão urbana diante de áreas impróprias para ocupação é uma situação preocupante, visto que, podem acarretar prejuízos ambientais e socioeconômicos. Estudos relativos à suscetibilidade natural e induzida a ocorrência de escorregamentos, têm recebido incentivo do Governo Federal nos últimos anos, principalmente através de medidas tomadas pelo Ministério das Cidades em consonância com a lei n. 12.608, por serem considerados de extrema importância para a redução de desastres, principalmente pela prevenção, através do incentivo no Planejamento Urbano. Diante disso, este trabalho apresenta um estudo sobre a suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, AL. Tendo como objetivo, avaliar a suscetibilidade (natural e induzida) a escorregamentos desta área. A metodologia utilizada foi baseada na análise heurística de Crepani *et al.*, (2001); Vaidya e Kumar (2004); Guzzetti (2006); Pfaltzgraff (2007), entre outros. Foram utilizados fatores relativos a geologia, geomorfologia, solos, declividade, forma do terreno, uso e ocupação da terra. A análise espacial foi realizada por meio do método multicritérios e álgebra de mapas e a ponderação das variáveis através do método *Analytic Hierarchy Process* - AHP. Os mapas de suscetibilidade natural e induzida apresentaram três classes com o predomínio da classe média em ambos, indicando um estado de alerta. Notou-se pela comparação das cartas de suscetibilidade natural e de suscetibilidade induzida, que a diversas formas de uso e ocupação da terra na área estudada têm contribuído para elevar a suscetibilidade média e alta. Desta forma, os resultados obtidos foram satisfatórios permitindo análises ambientais associadas a suscetibilidade natural e induzida a escorregamentos. Para a carta de suscetibilidade natural as classes de suscetibilidade baixa, média, alta, apresentaram respectivamente uma frequência de 26%, 64% e 10%. Enquanto a carta de suscetibilidade induzida, as classes de suscetibilidade baixa, média, alta, apresentaram respectivamente uma frequência de 10%, 75% e 15%. As cartas de suscetibilidade diante de sua validação mostraram-se apropriadas para o contexto estudado, para a carta de suscetibilidade natural, 69% dos escorregamentos estão concentrados na classe de suscetibilidade alta; e, na carta de suscetibilidade induzida a concentração de cicatrizes de escorregamentos foi de 74% na classe de suscetibilidade alta. Aponta-se que a situação ambiental do litoral norte de Maceió requer do poder público uma maior atenção diante de uma perspectiva de planejamento urbano mais comprometida. A utilização das ferramentas de geoprocessamento assim como a utilização do método AHP contribuiu significativamente para os diagnósticos de suscetibilidade.

Palavras-chave: Expansão urbana. Desastres. Álgebra de Mapas.

ABSTRACT

Urban sprawl in areas unfit for occupation is a worrying situation, since it can lead to environmental and socioeconomic losses. Studies concerning the natural susceptibility and the occurrence of landslides have received encouragement from the Federal Government in recent years, mainly through measures taken by the Ministry of Cities in accordance with Law no. 12,608, because they are considered of extreme importance for the reduction of disasters, mainly by the prevention, through the incentive in the Urban Planning. Therefore, this work presents a study on the natural and induced susceptibility to the occurrence of landslides in the northern coast of Maceió, AL. With the objective of evaluating the susceptibility (natural and induced) to landslides in this area. The methodology used was based on the heuristic analysis of Crepani et al. (2001), Vaidya and Kumar (2004); Guzzetti (2006); Pfaltzgraff (2007), among others. Factors related to geology, geomorphology, soils, slope, land form, land use and occupation were used. Spatial analysis was performed using the multi - criteria and map algebra method and the weighting of variables using the Analytic Hierarchy Process - AHP method. The maps of natural and induced susceptibility presented three classes with the predominance of the middle class in both, indicating a state of alertness. It was noted by the comparison of the natural susceptibility and induced susceptibility charts, that the various forms of land use and occupation in the studied area have contributed to increase the medium and high susceptibility. In this way, the obtained results were satisfactory allowing environmental analyzes associated with the natural susceptibility and induced to landslides. For the letter of natural susceptibility the classes of low, medium and high susceptibility presented a frequency of 26%, 64% and 10%, respectively. While the letter of susceptibility induced, the classes of low, medium and high susceptibility presented respectively a frequency of 10%, 75% and 15%. The letters of susceptibility to its validation were appropriate for the context studied; for the letter of natural susceptibility, 69% of the landslides are concentrated in the high susceptibility class; and, in the letter of susceptibility induced the concentration of scars of slippage was 74% in the high susceptibility class. It is pointed out that the environmental situation of the north coast of Maceió requires the public power greater attention in the face of a more committed urban planning perspective. The use of the geoprocessing tools as well as the use of the AHP method contributed significantly to the diagnosis of susceptibility.

Keywords: Urban expansion. Disasters. Map Algebra.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de rastejo	20
Figura 2 - Escorregamento ocorrido no bairro Tabuleiro do Martins, Maceió, AL	20
Figura 3 - Exemplo de queda de bloco	21
Figura 4 - Exemplo de corrida de lama	21
Figura 5 - Mortes por escorregamento no Brasil (1988 – 2017)	23
Figura 6 - Notícias relatando o desastre em Maceió, AL	24
Figura 7 - Fatores condicionantes dos escorregamentos	25
Figura 8 - Escorregamento Circular (rotacional).....	26
Figura 9 - Cicatriz de Escorregamento rotacional em um trecho da BR-101, PE.....	27
Figura 10 - Escorregamento em Cunha	27
Figura 11 - Cicatriz de Escorregamento em cunha no município de Quipapá, PE	28
Figura 12 - Escorregamento Planar (Translacional).....	28
Figura 13 - Cicatriz de Escorregamento translacional na cidade de Maceió - Alagoas	29
Figura 14 - Tipos de perfis de encostas	30
Figura 15 - Mapa de Localização da área estudada.....	39
Figura 16 - Imagem de satélite da área de estudo.....	40
Figura 17 - Talude de corte com sedimentos da Formação Barreiras	41
Figura 18 - Mapa Hipsométrico da área de estudo	43
Figura 19 - Gráfico da normal Climatológica de Maceió.....	47
Figura 20 - Expansão urbana de Maceió a partir do Porto de Jaraguá de 1850 até 1980.....	48
Figura 21 - Divisão territorial de Maceió em 1980	49
Figura 22 - Divisão territorial de Maceió no ano 2000	50
Figura 23 - Hierarquização para aquisição do mapa de suscetibilidade natural à escorregamentos via método AHP	60
Figura 24 - Hierarquização para aquisição do mapa de suscetibilidade induzida à escorregamentos via método AHP	60
Figura 25 - Exemplo de estruturação da equação para suscetibilidade natural na calculadora raster	67
Figura 26 - Exemplo de estruturação da equação para suscetibilidade induzida na calculadora raster	67

Figura 27 - Exemplo da quantidade de pixels presentes no mapa de suscetibilidade natural (a coluna count contém a quantidade de pixel presente em cada classe do mapa).....	68
Figura 28 - Mapa de Declividade, litoral norte de Maceió.....	72
Figura 29 - Frequência das classes de declividade, litoral norte de Maceió	73
Figura 30 - Ocupação irregular em área de encosta, litoral norte de Maceió.....	73
Figura 31 - Mapa das Formas do Terreno, litoral norte de Maceió.....	75
Figura 32 - Frequência das classes da Forma do Terreno, litoral norte de Maceió.....	76
Figura 33 - Ocupações precárias em um setor de formas côncavas, litoral norte de Maceió...	76
Figura 34 - Mapa das Unidades Geomorfológicas do litoral norte de Maceió	79
Figura 35 - Frequência dos modelados geomorfológicos, litoral norte de Maceió	80
Figura 36 - Perfil geral da área estudada	80
Figura 37 - Perfil do tabuleiro de topo planar	80
Figura 38 - Perfil do tabuleiro de forma convexa.....	80
Figura 39 - Transectos dos perfis, relativos as figuras 34, 35 e 36, (da esquerda para direita respectivamente).....	81
Figura 40 - Mapa das Unidades Geológicas, litoral norte de Maceió - AL.....	82
Figura 41 - Frequência das Unidades Geológicas, litoral norte de Maceió.....	83
Figura 42 - Cortes nos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando diferentes texturas.....	83
Figura 43 - Mapa de Solos, litoral norte de Maceió – AL.....	85
Figura 44 - Frequência das classes de Solo, Litoral Norte de Maceió	86
Figura 45 - Corte no tabuleiro da Formação Barreiras, destacando a presença de argissolos..	86
Figura 46 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra, Litoral Norte de Maceió - AL	88
Figura 47 - Frequência das classes de Uso e Ocupação da Terra, litoral norte de Maceió	89
Figura 48 - Agentes antrópicos modificando a morfologia das encostas, litoral norte de Maceió	89
Figura 49 - Novos empreendimentos no litoral norte de Maceió	90
Figura 50 - Escorregamento da contenção do talude próximo a um shopping em Maceió.....	91
Figura 51 - Adensamento de moradias em uma área de risco no setor Sul do município de Maceió	91
Figura 52 - Ocupação em um setor de formas côncavo/retilíneo	92
Figura 53 - Carta de suscetibilidade natural a escorregamentos, litoral norte de Maceió.....	97

Figura 54 - Frequência das classes de suscetibilidade natural a escorregamentos, litoral norte de Maceió	98
Figura 55 - Cicatriz de escorregamento em uma área sem ocupação (suscetibilidade média), litoral norte de Maceió.....	98
Figura 56 - Carta de suscetibilidade induzida a escorregamentos, litoral norte de Maceió	99
Figura 57 - Frequência das classes de suscetibilidade induzida a escorregamentos, litoral norte de Maceió	100
Figura 58 - Cicatriz de escorregamento em um talude de corte (suscetibilidade média), litoral norte de Maceió	100
Figura 59 - Mapa de cicatrizes de escorregamentos, litoral norte de Maceió	103
Figura 60 - Superposição das cicatrizes de escorregamentos no mapa de suscetibilidade natural	104
Figura 61 - Superposição das cicatrizes de escorregamentos no mapa de suscetibilidade induzida	105
Figura 62 - Concentração de Cicatrizes de Escorregamentos nas classes de suscetibilidade (natural e induzida).....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Geologia	56
Quadro 2 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Geomorfologia.....	56
Quadro 3 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Solos	57
Quadro 4 - Ponderação do grau de suscetibilidade a escorregamentos para cada associação de solo	57
Quadro 5 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Formas do Terreno	58
Quadro 6 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Declividade.....	59
Quadro 7 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Uso e Ocupação da Terra.....	59
Quadro 8 - Matriz quadrada de correlação par a par	61
Quadro 9 - Matriz de Normalização dos critérios	62
Quadro 10 - Matriz quadrada de correlação par a par (Suscetibilidade Natural)	64
Quadro 11 - Matriz quadrada de correlação par a par (Suscetibilidade Induzida)	64
Quadro 12 - Matriz de Normalização dos critérios (Suscetibilidade Natural)	64
Quadro 13 - Matriz de Normalização dos critérios (Suscetibilidade Induzida)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais tipos de movimentos de massa em encostas.....	22
Tabela 2 - Descrição da definição dos conceitos.....	31
Tabela 3 - Quantitativo populacional e domiciliar da RA 8 (por bairros).....	40
Tabela 4 - Principais classes de uso e ocupação da terra e suas características	54
Tabela 5 - Escala Fundamental da AHP	61
Tabela 6 - Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo Analítico Hierárquico
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ibid	Ibidem
IC	Índice de Consistência
IMA	Instituto do Meio Ambiente de Alagoas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IR	Índice Randômico
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PDI	Processamento Digital de Imagens
RA	Região Administrativa
RC	Razão de Consistência
SF	Sistemas Frontais
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UGI	União Geográfica Internacional
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
ZAAL	Zoneamento Agroecológico de Alagoas
ZCEN	Zona de Convergência do ENE
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZIAP	Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos	17
1.3	Estrutura da dissertação	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Movimentos de massa	19
2.1.1	Escorregamentos	22
2.1.2	Tipos de Escorregamentos	26
2.2	As encostas como categoria de análise da paisagem	29
2.3	Conceitos relacionados a riscos e suscetibilidade a escorregamentos	30
2.3.1	Método de Processo Analítico Hierárquico (<i>Analytic Hierarchy Process</i> - AHP)	33
2.4	Mapeamento geomorfológico	35
2.5	Uso e ocupação da terra, legislação ambiental e expansão urbana	37
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	39
3.1	Aspectos Geoambientais	41
3.2	Breve histórico de Maceió no contexto de sua expansão urbana	47
4	MATERIAL E MÉTODOS	52
4.1	Geração da base de dados	52
4.2	Confecção das cartas de suscetibilidade (natural e induzida)	54
4.2.1	Grau de Suscetibilidade	55
4.2.2	Geologia	55
4.2.3	Geomorfologia	56
4.2.4	Solos	56
4.2.5	Formas do terreno	58
4.2.6	Declividade	58
4.2.7	Uso e ocupação da terra	59
4.2.8	Descrição da estruturação do método AHP	60
4.2.9	Estruturação do Método AHP para área estudada	63
4.3	Validação dos mapeamentos de suscetibilidade/mapeamento das cicatrizes de escorregamentos	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70

5.1 Avaliação dos fatores condicionantes da suscetibilidade (natural e induzida) à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de maceió.....	70
5.1.1 Declividade.....	70
5.1.2 Forma do terreno	74
5.1.3 Geomorfologia.....	77
5.1.4 Geologia	81
5.1.5 Solos	84
5.1.6 Uso e Ocupação da Terra.....	86
5.2 Análise dos dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos (natural e induzida), diante da perspectiva do planejamento urbano.....	90
5.3 Validação dos dois cenários de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos.....	101
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
REFERÊNCIAS	108
APÊNDICE A – MATRIZ DE DECISÃO AHP (SUSCETIBILIDADE NATURAL)	114
APÊNDICE B - MATRIZ DE DECISÃO AHP (SUSCETIBILIDADE INDUZIDA)	115

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização na maior parte dos grandes centros do Brasil tem ocorrido de forma espontânea sem haver um planejamento territorial adequado. Maceió, assim como a maioria das grandes cidades brasileiras, não teve um planejamento territorial onde prezasse por uma melhor distribuição da população; observou-se nas últimas décadas uma rápida expansão na sua área urbana, que está assentada sob terrenos da Formação Barreiras, apresentando composição geológica de sedimentos pouco consolidados, ou seja, possui por si só uma suscetibilidade natural a processos morfodinâmicos da paisagem, como escorregamentos.

No caso específico do litoral norte de Maceió, os órgãos inerentes à prefeitura municipal, que gerenciam o planejamento territorial e por conseguinte emitem relatórios de licenciamento ambiental para construção de empreendimentos, não têm dado a devida atenção para os parâmetros geomorfológicos, pedológicos e climáticos da região. Há de se notar que a área de estudo vem se expandindo em ritmo acelerado, visto que a região central e o sul da planície costeira do município de Maceió já se encontram densamente urbanizadas.

A junção dos fatores, meio físico, já naturalmente suscetível (suscetibilidade natural) com o meio antrópico expandindo-se de forma irrefletida, causam diversos problemas ambientais que vão repercutir nos sistemas geomorfológicos, como agravamento dos processos erosivos e desencadeamento de escorregamentos fatores que caracterizam o risco geomorfológico (suscetibilidade induzida).

Os processos de escorregamentos em encostas urbanas têm aumentado nos últimos anos, devido ao crescimento irregular das cidades, com a ocupação de áreas de suscetíveis a tais processos. Maceió alberga várias localidades suscetíveis à desastres ambientais, encostas com processos erosivos acelerados, vários pontos de recorrência de escorregamentos; a população que habita essas áreas e/ou seu entorno vivem sob risco iminente. Os mapeamentos de suscetibilidade aplicados ao planejamento territorial foram bastantes incentivados pelo Governo Federal nos últimos anos, principalmente através de medidas tomadas pelo Ministério das Cidades em consonância com a Lei n. 12.608. Tendo como principal foco contribuir para a redução de desastres, principalmente pela prevenção, através do incentivo no Planejamento Urbano.

Os conhecimentos sobre a geomorfologia na perspectiva do planejamento territorial são importantes para prevenir a ocorrência de desastres ambientais. Nesse contexto, o trabalho aborda a temática da suscetibilidade a escorregamento em busca de oferecer aos gestores

públicos da cidade de Maceió sugestões de ordenamento do território de forma que venha a minimizar os riscos para a sociedade.

Dada a importância da análise integrada dos ambientes terrestres, levam-se em conta fatores ambientais: clima, relevo, vegetação, solo, geologia e também antrópicos, como agentes modificadores da dinâmica terrestre. Sendo assim, pensa-se na perspectiva do planejamento integrado das áreas urbanizadas, com a intenção de que a cidade se desenvolva de forma mais estruturada.

1.1 Justificativa

A escolha da área de estudo é devido a mesma representar uma área que vem perdendo suas características naturais diante da ocupação urbana recente, em detrimento disso, vários desequilíbrios ambientais já foram notados, com tendência a se agravar, causando transtornos econômicos e sociais. Além disto, o município de Maceió não possui uma ampla bibliografia voltada para o tema suscetibilidade a escorregamentos, tampouco um banco de dados georreferenciados de eventos nos últimos anos, encontrando-se apenas um artigo aplicado a temática de forma generalizada para Maceió como um todo, de Rodrigues; Calheiros e Melo (2013).

Dada a importância da carta de suscetibilidade frente a expansão urbana da região estudada, a presente dissertação irá oferecer a prefeitura de Maceió e conseqüentemente a sociedade, uma identificação prévia das áreas mais críticas para ocupação urbana ao longo do litoral norte da cidade que atualmente se encontra em processo acelerado de expansão.

1.2 Objetivos

Diante do exposto, a pesquisa ora apresentada tem como **objetivo geral**: Avaliar a suscetibilidade (natural e induzida) a escorregamentos no litoral norte de Maceió.

Nos objetivos específicos, pretende-se:

- a) Avaliar as variáveis condicionantes da suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos na área estudada;
- b) Analisar dois cenários de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos, diante da perspectiva do Planejamento Urbano;
- c) Validar os dois cenários de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em seis capítulos. No Capítulo 1, tem-se a Introdução, Objetivos e a Justificativa da pesquisa. O Capítulo 2 trata sobre Revisão Bibliográfica, com destaque para a caracterização dos movimentos de massa, especialmente escorregamentos, suscetibilidade entre outros. No capítulo 3 tem-se a Caracterização da área, destacando-se os aspectos geoambientais e um breve histórico sobre a cidade de Maceió. Os Procedimentos Metodológicos adotados para a realização do trabalho são mostrados no Capítulo 4, onde se destacam os materiais e métodos utilizados. Os Resultados e Discussão dos dados e informações encontradas são apresentados no Capítulo 5. Por fim, as Conclusões e oportunidades para estudos futuros estão no Capítulo 6, seguido pelas Referências Bibliográficas e Apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão tratados aspectos relativos à literatura sobre encostas em meio a análise da paisagem, classificação dos movimentos de massa, escorregamentos e suas subdivisões, suscetibilidade e método de Processo Analítico Hierárquico (AHP), Mapeamento Geomorfológico, uso e ocupação da terra, legislação ambiental, expansão e planejamento urbano. Todo esse percurso teórico reflete o conhecimento do autor em meio a temática abordada.

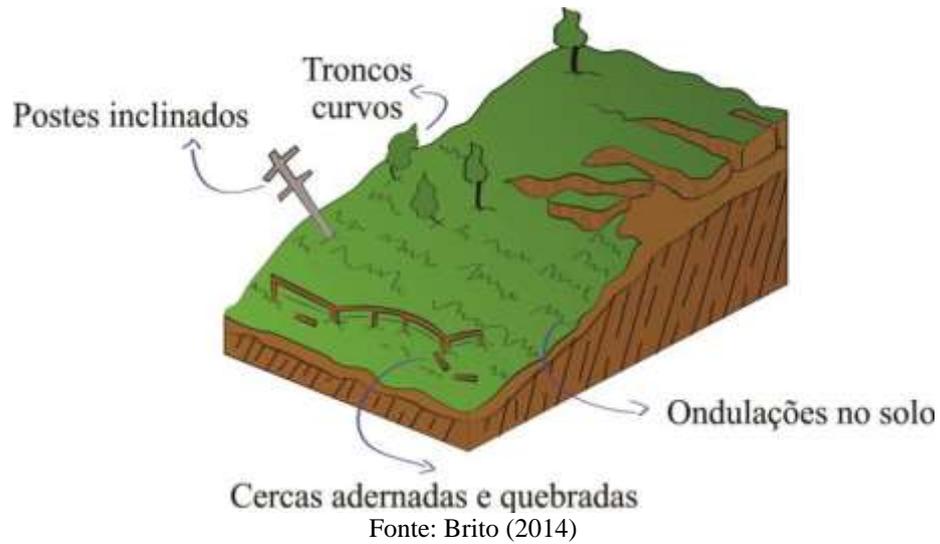
2.1 Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são processos inerentes da dinâmica do relevo e podem causar grandes danos socioeconômicos e perdas de vidas humanas quando em desequilíbrio.

Eles são classificados de acordo com o material envolvido, o tipo de mecânica e a velocidade de movimentação. Constituem-se no deslocamento de solo e rocha vertente abaixo sob a influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes como água, gelo ou ar (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; VARNES, 1984; AUGUSTO FILHO e CERRI, 1988; SELBY, 1993; GUERRA; MARÇAL, 2006; GUERRA, 2011; GUERRA *et al.*, 2017).

A classificação dos movimentos de massa é um tanto complexa, devido a grande variedade de materiais e processos envolvidos. Por isso, há muitos conceitos e terminologias adotadas por diferentes autores para determinarem os movimentos de massa e suas formas de classificações, provocando diferentes interpretações pelos leitores. Dentre as várias conceituações, na presente dissertação adota-se a já consagrada classificação utilizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de Augusto Filho (1992) que agrupa quatro classes de processos: Rastejo, Escorregamentos, Quedas e Corridas, descritos a seguir:

O rastejo caracteriza-se por movimentos lentos, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo, com velocidades de centímetros ou milímetros por ano (AUGUSTO FILHO 1992). O rastejo pode preceder os escorregamentos, caso ocorram precipitações pluviais intensas e/ou prolongadas (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Devido à sua baixa velocidade e à inexistência de uma superfície de ruptura bem definida, o processo pode ser notado através da inclinação de árvores, postes e muros sob o terreno em atividade, tem-se uma ilustração desse processo na Figura 1.

Figura 1 - Exemplo de rastejo

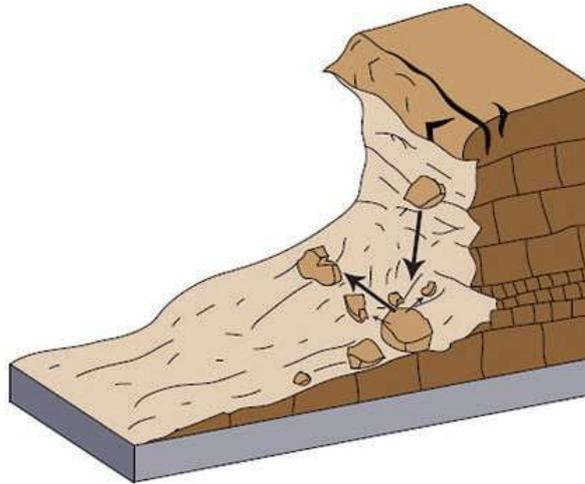
Os escorregamentos de modo geral são movimentos rápidos, de curta duração, com velocidades de metros por hora a metros por segundo. Apresentam planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO 1992), podem assumir geometria rotacional, translacional ou em formato de cunha. Na Figura 2, mostra-se um exemplo de escorregamento ocorrido em Maceió – AL no período chuvoso do ano 2017, deixando um total de quatro mortos.

Figura 2 - Escorregamento ocorrido no bairro Tabuleiro do Martins, Maceió, AL

Fonte: G1/AL (2017)

As quedas consistem no movimento de fragmentos de rocha através de queda livre, salteamento ou rolamento, com velocidades muito altas, da ordem de metros por segundo (VARNES, 1984; AUGUSTO FILHO 1992). Sua ocorrência está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, na Figura 3, mostra-se um exemplo desse processo.

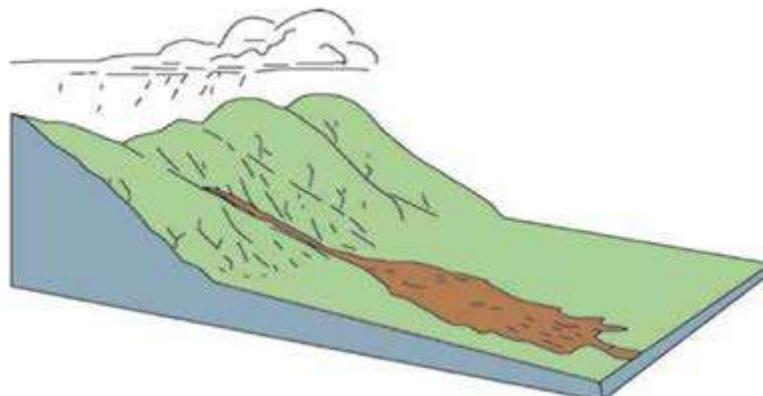
Figura 3 - Exemplo de queda de bloco



Fonte: USGS (2008)

As corridas são movimentos rápidos de grandes dimensões, com velocidades de metros por hora a metros por segundo. São altamente destrutivas e resultam da confluência de vários escorregamentos e de um grande aporte de detritos nas linhas de drenagem. Esse material, misturado com grandes volumes de água, forma uma massa semifluida, decorrente da perda de atrito interno do solo, em virtude da destruição de sua estrutura em presença de excesso de água (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). As corridas podem ser divididas, dependendo do material mobilizado e da velocidade do movimento, em: corrida de terra, corrida de lama e avalanche de detritos, na Figura 4, tem-se um exemplo de corrida de lama.

Figura 4 - Exemplo de corrida de lama



Fonte: USGS (2008)

Na Tabela 1, apresenta-se de forma sintetizada os quatro tipos de processos relativos a movimentos de massa classificados por Augusto Filho (1992), dando-se ênfase às suas Dinâmicas, características geométricas e do material.

Tabela 1 - Principais tipos de movimentos de massa em encostas

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejo (Creep)	<ul style="list-style-type: none"> vários planos de deslocamento (internos); velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; geometria indefinida.
Escorregamento (Slides)	<ul style="list-style-type: none"> poucos planos de deslocamento (externos); velocidades médias (m/h) a altas (m/s); pequenos a grandes volumes de material; geometria e materiais variáveis: <p>Planares (translacionais) – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares (rotacionais) – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza;</p>
Queda (Falls)	<ul style="list-style-type: none"> sem planos de deslocamento movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado velocidades muito altas (vários m/s) material rochoso pequenos a médios volumes geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. rolamento de matacão tombamento
Corridas (Flows)	<ul style="list-style-type: none"> muitas superfícies de deslocamento movimento semelhante ao de um líquido viscoso desenvolvimento ao longo das drenagens velocidades médias a altas mobilização de solo, rocha, detritos e água grandes volumes de material extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992)

Dentre os tipos de movimentos de massa, os mais comuns na região em estudo são os escorregamentos, objeto de investigação desta dissertação. Assim, adiante se dará destaque à conceituação destes processos.

2.1.1 Escorregamentos

Os escorregamentos de terra são fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre. Decorrem do desprendimento de materiais sólidos de geometria e materiais variáveis, como solos, rochas, vegetação e/ou material de

construção ao longo de terrenos inclinados como encostas; são muito frequentes em áreas densamente habitadas (AUGUSTO FILHO, 1992).

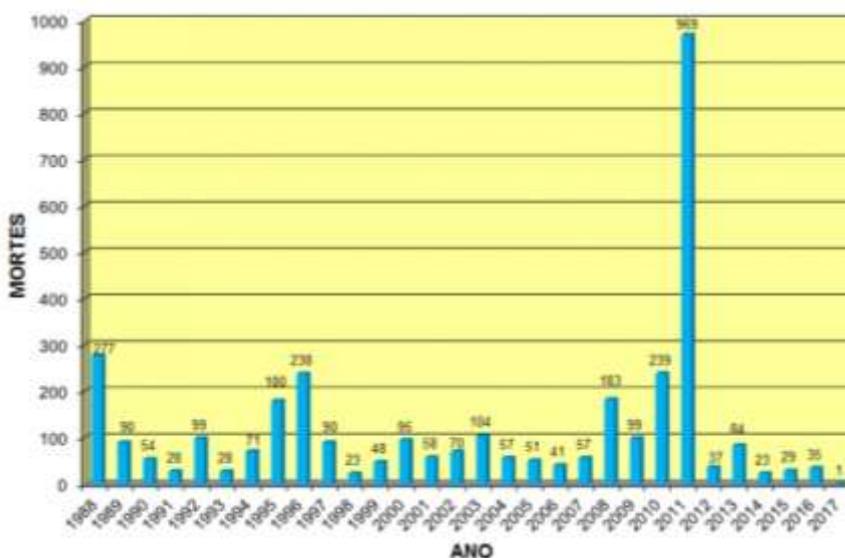
Os movimentos são em geral rápidos, com duração relativamente curta, as rupturas do terreno geralmente são bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude, apresentando poucos planos de deslocamento externo (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1992).

De acordo com Corrêa (2006), sempre que a força da gravidade exceder as forças de fricção que se opõem a ela (tensão de cisalhamento), haverá condições para desencadear o processo de escorregamento, ou seja, quando a tensão de cisalhamento excede a força de fricção. Os escorregamentos que têm como agravante a ação da água, podem ser bem mais catastróficos, já que esse agente reduz a resistência ao cisalhamento da encosta, afetando a plasticidade e fluidez do solo (CORRÊA, 2006; GUERRA *et al.*, 2017).

Os escorregamentos fazem parte dos processos superficiais da paisagem que mais acarretam prejuízos financeiros e mortes em escala mundial. No Brasil esse fenômeno é bastante recorrente, pois anualmente acontecem casos de desastres relacionados a movimentos de massa nas cidades brasileiras (ONU, 1993 *apud* Florenzano, 2008).

Infelizmente, o Brasil não tem um banco de dados de longo período que quantifique detalhadamente os escorregamentos atuantes em uma larga escala temporal. Isso se dá devido a deficiência dos órgãos públicos em nível municipal, estadual e nacional em organizar os dados sobre os eventos. Em um levantamento feito pelo IPT (Figura 5), mostra-se que no período (1988-2017) um total de 3.458 vidas foram ceifadas devido a escorregamentos.

Figura 5 - Mortes por escorregamento no Brasil (1988 – 2017)



Fonte: Banco de dados do IPT (2017)

De acordo com o levantamento feito pelo IPT (Figura 5), somente no ano de 2011 aconteceram quase mil mortes. Esse número tão alarmante coincidiu com o maior desastre do Brasil envolvendo movimentos de massa, ocorrido na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. No evento foi registrado um grande volume pluviométrico que favoreceu o desencadeamento dos processos (BANCO MUNDIAL, 2011).

Como no caso do desastre no Rio de Janeiro em 2011, além da suscetibilidade natural e induzida da região, o alto índice pluviométrico contribuiu significativamente para o desencadeamento do processo, visto que a água desestabiliza as encostas devido o escoamento e infiltração no solo (ARAUJO *et al.*, 2011).

Perdas de vidas humanas em decorrência de desastres ambientais relacionados a escorregamentos são recorrentes também no município de Maceió. Nesse contexto, cabe relatar o episódio mais recente que ocorreu no mês de maio de 2017. Um desastre que acarretou em sete mortes, dezenas de feridos e centenas de desabrigados/desalojados (Figura 6), levando a prefeitura municipal decretar emergência e calamidade pública.

Figura 6 - Notícias relatando o desastre em Maceió, AL

Sobe para sete o número de mortos em deslizamentos de terra em Maceió

Bombeiros encontraram corpos de mulher e de bebê na manhã desta terça (30), na Grota do Santo Amaro, em Maceió. Duas pessoas ainda estão desaparecidas.

Por Carolina Sanchez, G1 AL
30/05/2017 12:14 - Atualizado 30/05/2017 13:25

57 desabamentos e quase 100 deslizamentos; veja números da chuva em Maceió

27/05/2017 - 16:36 - Atualizado em 27/05/2017 - 16:52

Fonte: G1/AL e TNH1/AL, adaptado (2018)

A explicação para o desencadeamento dos diversos escorregamentos que ocorreram no desastre relatado teve como agente contribuinte a grande quantidade de chuva acumulada em poucas horas, o que acabou saturando o solo em situação de suscetibilidade.

Conforme dados meteorológicos disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), choveu cerca de 250 mm em apenas 96 horas, o total de precipitação para o mês de maio de 2017 foi de 548,4 mm, muito acima da média pluviométrica normal para o mês de maio (300 mm). O evento extremo teve forte influência da conjunção de sistemas atmosféricos como ventos de leste e auxílio de um cavado (CEMADEN/INPE, 2017). Augusto Filho e Cerri, (1988), apontam que os escorregamentos em encostas estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso.

A grande quantidade de chuva associada a suscetibilidade do terreno, como encostas íngremes desprotegidas de vegetação, assentamentos irregulares em encostas de alta declividade, descontinuidades litológicas e pedológicas, entre outros, são os fatores que levam a ruptura do terreno (CAMARINHA; CANAVESI; ALVALÁ, 2014).

Nessa perspectiva, para uma melhor compreensão dos processos de escorregamentos, deve ser dada atenção a influência do clima, como agente deflagrador dos processos que causam os desastres (chuvas); o meio físico, que corresponde a todos os elementos da superfície terrestre que estão relacionados com a suscetibilidade do processo ocorrer (estrutura geológica, declividade, vegetação) e também os condicionantes antrópicos (Figura 7), que contribuem decisivamente para a modificação da dinâmica geomorfológica (AUGUSTO FILHO; CERRI, 1988; SELBY, 1993; CORRÊA, 2006; GUERRA, 2011; CAMARINHA; CANAVESI; ALVALÁ, 2014).

Figura 7 - Fatores condicionantes dos escorregamentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

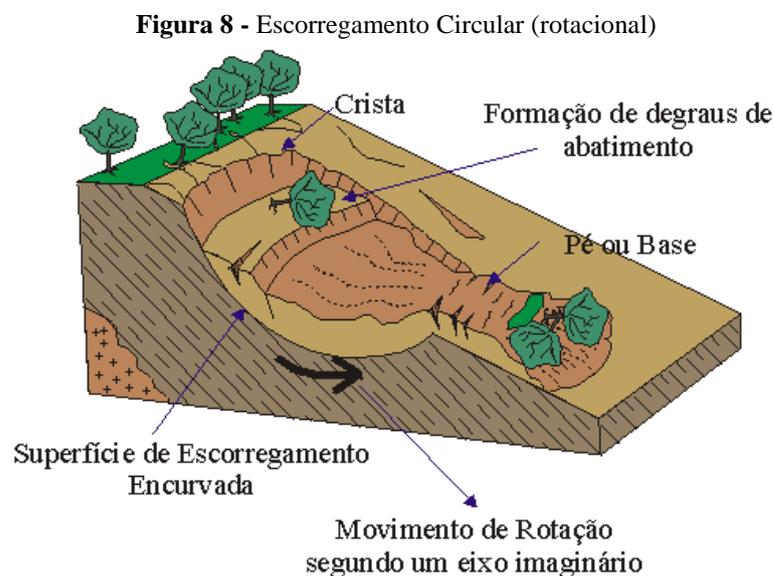
Dentre os fatores condicionantes do ambiente físico há de se destacar o tipo de solo, sua constituição, granulometria e nível de coesão; declividade da encosta, cujo grau define o ângulo de repouso, em função do peso das camadas, da granulometria e nível de coesão e ação da água, responsável pelo aumento do peso específico das camadas; que acaba por reduzir o nível de coesão e atrito que dão consistência ao solo (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; GUZZETTI, 2006).

Quanto aos condicionantes antrópicos, os escorregamentos são intensificados devido ao padrão de uso e ocupação da terra, como ocupação irregular de terrenos suscetíveis ao processo, retirada da cobertura vegetal, cortes em taludes, aterros, modificações na drenagem entre outros (CARDOZO; HERRMANN, 2011). Estes fatores acabam por desestabilizar o terreno desencadeando processos de escorregamentos, seja ele Translacional, Rotacional ou em Cunha, mostrados a seguir.

2.1.2 Tipos de Escorregamentos

No processo de escorregamento, devido a sua forma, plano de ruptura com desprendimento de materiais sólidos de geometria e materiais variáveis, Augusto Filho (1992) caracteriza três tipos de escorregamentos: **Circulares** (rotacionais), **Planares** (translacionais), e **em Cunha**.

Os escorregamentos Circulares (rotacionais) (Figuras 8 e 9), tem como características solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas, possuem superfícies de deslizamento curvas, geralmente nos processos há ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas.



Fonte: Reis (2001)

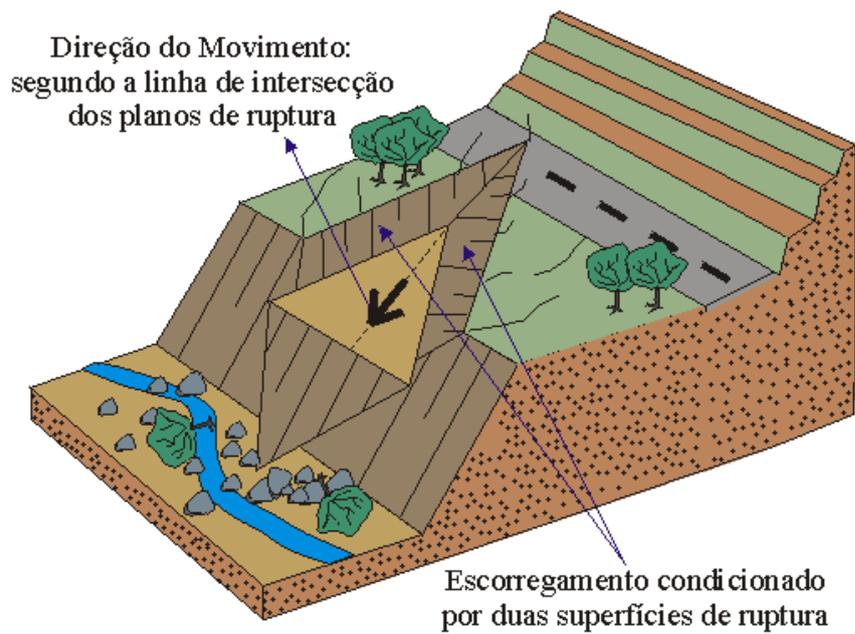
Figura 9 - Cicatriz de Escorregamento rotacional em um trecho da BR-101, PE



Fonte: autor (2017)

O Escorregamento em Cunha (Figuras 10 e 11) tem como principal característica a ocorrência de dois planos de fraqueza nos solos e rochas.

Figura 10 - Escorregamento em Cunha



Fonte: Reis (2001)

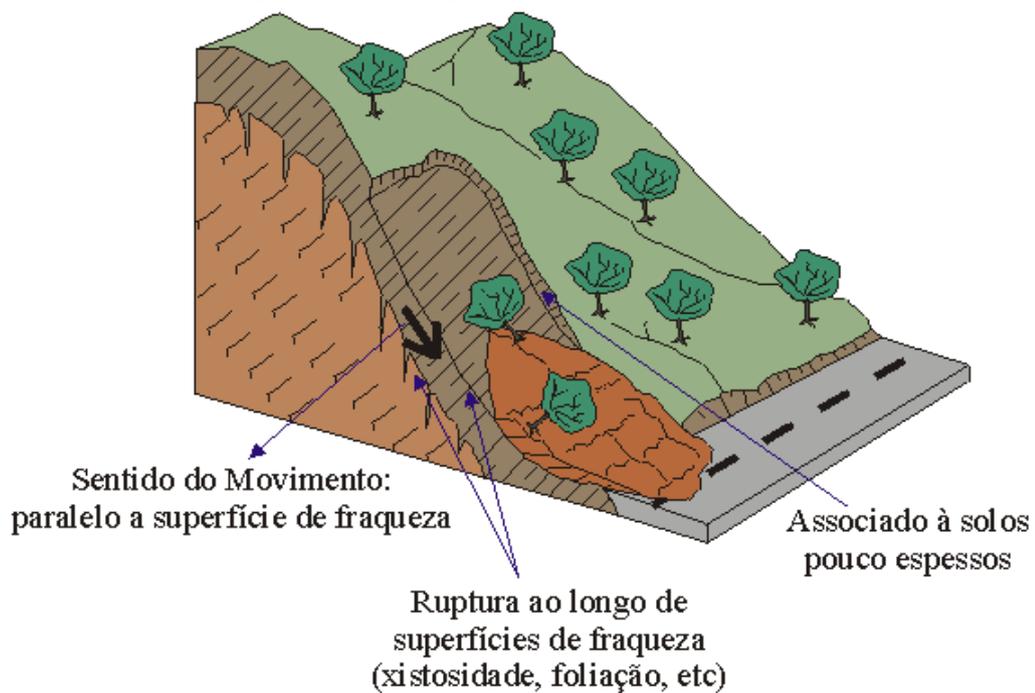
Figura 11 - Cicatriz de Escorregamento em cunha no município de Quipapá, PE



Fonte: autor (2017)

Já os escorregamentos do tipo Planar ou Translacional (Figuras 12 e 13), tem como características solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de ruptura ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos nas encostas com altas declividades. Os escorregamentos translacionais são em geral, compridos e rasos, onde o plano de ruptura encontra-se, na grande maioria das vezes em profundidades que variam entre 0,5m e 5,0m.

Figura 12 - Escorregamento Planar (Translacional)



Fonte: Reis (2001)

Figura 13 - Cicatriz de Escorregamento translacional na cidade de Maceió - Alagoas



Fonte: Bispo *et al.* (2015)

Entre os três tipos de Escorregamentos descritos, o tipo mais comum na região em estudo é o escorregamento de tipo translacional que na sua grande maioria das vezes, ocorrem durante períodos de intensa precipitação. A partir de então, a dissertação passa a se debruçar no subitem seguinte, sobre a suscetibilidade do acometimento desse processo em meio a região pesquisada.

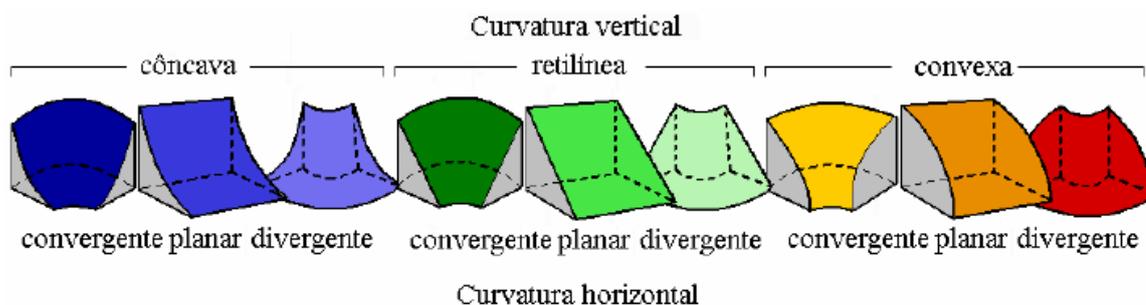
2.2 As encostas como categoria de análise da paisagem

As encostas ou vertentes, conforme Christofolletti (1980), constituem-se numa superfície inclinada não horizontal sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional, caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais, podendo ser formadas por fenômenos internos e externos, por meio de agentes geológicos, climáticos, biológicos e humanos, os quais, através dos tempos esculpem a superfície da Terra.

Configuram-se como ambientes bastante dinâmicos onde os processos naturais como erosão e escorregamentos ocorrem frequentemente. Estão presentes em grande parte da superfície terrestre, portanto, seu estudo é fundamental para a compreensão das paisagens naturais e antrópicas (SELBY, 1993; GUERRA; MARÇAL, 2006; GIRÃO; CORRÊA; GUERRA, 2007; GUERRA *et al.*, 2017).

As encostas são classificadas de acordo com as formas que assumem. Tem-se perfis côncavos, convexos e retilíneos, visto em uma perspectiva vertical, e, divergente, convergente e planar, enquanto curvatura horizontal (Figura 14).

Figura 14 - Tipos de perfis de encostas



Fonte: Pfaltzgraff (2007) adaptado de Valeriano (2004)

A curvatura horizontal está ligada ao caráter divergente/convergente/planar dos fluxos de matéria sobre um terreno, relaciona-se aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade. Já a curvatura vertical está ligada ao caráter convexo/côncavo/retilíneo do terreno quando analisado em perfil e relaciona-se aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo, proporcionados pela gravidade, o que evidencia áreas de aceleração e desaceleração gravitacional (VALERIANO; CARVALHO JÚNIOR, 2003).

A forma de encosta côncava é mais propensa a escorregamentos em relação a forma de encosta convexa e a retilínea (GUERRA, 2011). Enquanto as encostas que apresentam perfis divergentes possuem maior probabilidade de sofrer processos movimentos de massa do que os convergentes. Esses padrões topográficos estão intrinsicamente ligados a fatores como declividade, orientação da encosta, entre outros (LISTO; VIEIRA, 2010; TORRES, 2014).

As encostas são os ambientes propícios para o desencadeamento de processos de escorregamentos, além de sua forma, outros fatores condicionantes aos escorregamentos estão relacionados, principalmente os fatores ligados à estrutura geológica, geomorfológica, topográfica (declividade), pluviometria e atividade antrópica (LISTO; VIEIRA, 2010; GUERRA *et al.*, 2017).

2.3 Conceitos relacionados a Riscos e Suscetibilidade a Escorregamentos

No campo de estudo dos riscos naturais não há consenso entre os estudiosos quanto as terminologias utilizadas nas pesquisas. Para melhor compreensão das discussões feitas nesta dissertação define-se de forma resumida alguns conceitos inerentes (Tabela 2). Tem-se

como base a publicação de Brasil (2007), onde alguns dos principais termos foram definidos por pesquisadores do Ministério das Cidades e do IPT, são eles:

Tabela 2 - Descrição da definição dos conceitos

<i>EVENTO</i>	Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.
<i>PERIGO (HAZARD)</i>	Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável.
<i>VULNERABILIDADE</i>	Grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.
<i>SUSCETIBILIDADE</i>	Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.
<i>RISCO</i>	Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.
<i>ÁREA DE RISCO</i>	Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda.

Fonte: Adaptado de Brasil (2007).

Conforme mostrado na tabela 2, a suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos **naturais** e **induzidos** em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência, ou ainda, propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área (BRASIL, 2007). Outros autores têm adotado esse conceito de suscetibilidade, como observado em: Pfaltzgraff (2007); Feel *et al.*, (2008); CPRM/IPT, (2014); Brito (2014); Torres (2014); Pfaltzgraff e Torres (2015)

Parte-se da prerrogativa que a carta de suscetibilidade a escorregamentos baseia-se na probabilidade de que algum evento natural e/ou induzido possa trazer prejuízos sociais e econômicos para uma região, podendo acarretar perdas de vidas, tendo como preceito auxiliar na elaboração de medidas de prevenção e planejamento do uso e ocupação da terra.

As cartas de suscetibilidade elaboradas neste estudo consideram que a suscetibilidade a escorregamentos pode ser inicialmente analisada por meio de fatores condicionantes intrínsecos à natureza dos terrenos (suscetibilidade natural) levando-se em conta as

propriedades geológicas, pedológicas e topográficas (declividade e formas do terreno por exemplo) além de fatores climáticos. E, diante das modificações antrópicas pelas diversas formas de uso e ocupação da terra, com a alteração dos agentes predisponente da suscetibilidade natural, tem-se a suscetibilidade induzida, onde se leva em conta todos os fatores condicionantes da suscetibilidade natural acrescido do uso e ocupação da terra (PFALTZGRAFF, 2007; FEEL *et al.*, 2008; TORRES 2014; BRITO 2014; MENEZES JÚNIOR, 2015).

Pfaltzgraff (2007) aponta que a suscetibilidade natural serve como ferramenta para planejamento da ocupação de áreas ainda não ocupadas, possuindo um caráter eminentemente preventivo. Já a suscetibilidade induzida, é determinada para áreas já urbanizadas, onde as atividades humanas alteraram extensivamente o terreno e, conseqüentemente, a suscetibilidade natural.

A seguir, dá-se ênfase a um tipo de suscetibilidade decorrente de um dos principais fenômenos relacionados aos desastres naturais no Brasil, os escorregamentos. Este tipo de fenômeno requer dos gestores públicos/órgão ambientais e de planejamento, atenção cotidiana para suscetibilidade dos setores que apresentam risco a dado processo.

Visto que a suscetibilidade expressa uma condição potencial, onde serão levados em conta diversos fatores que poderão dar *input* a um fenômeno. Vedovello e Macedo (2007) apontam que na natureza há áreas mais ou menos suscetíveis (instáveis ou estáveis) à ocorrência de processos geomórficos, levando-se em conta as características litológicas, pedológicas e de relevo.

De acordo com CPRM/IPT (2014), características que tendem a favorecer a ocorrência de escorregamentos, como o predomínio de declividade alta, pode ser considerada como fator preponderante, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade, ou seja, analisam-se os fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos.

Os mapas de suscetibilidade a escorregamentos são um bom instrumento técnico-científico para auxiliar no planejamento urbano, contribui significativamente para a diminuição dos riscos, servindo de aporte para os gestores públicos se anteciparem quanto a possíveis problemas nas áreas em processo de ocupação. Esse tipo de mapeamento é de baixo custo e de alta eficiência (FELL *et al.*, 2008).

Pfaltzgraff e Torres (2015), destacam que a carta de suscetibilidade tem a intenção de mostrar as áreas com características naturais que possam exigir maior atenção e cuidados técnicos para sua ocupação, ou mesmo que aponte para sua não ocupação, oferecendo aos

gestores governamentais, informações preciosas para o planejamento diante da implantação de loteamentos, conjuntos habitacionais, estradas e demais obras de infraestrutura.

Dentre os principais métodos existentes para mapeamentos de suscetibilidade destaca-se os métodos determinísticos, estatísticos e heurísticos (VAN WESTEN, 1993; BRITO; 2014; BRITO, WEBER e SILVA FILHO 2017).

A abordagem determinística se utiliza de métodos indiretos, onde os mapas de parâmetros são combinados por meio de cálculos de estabilidade da encosta, permite a análise dos fatores com grande precisão, no entanto geralmente tem custos altos e requerendo maior tempo do pesquisador, devido a quantidade de informações necessárias. A análise Estatística também se utiliza de métodos indiretos, onde as análises estatísticas são usadas para obter uma previsão do perigo ao movimento de massa a partir de um número de mapas de parâmetro. Já a abordagem heurística se fundamenta sobre o peso atribuído por julgamento do pesquisador permitindo realizar combinações de mapas, são considerados um avanço quando comparado ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação, devido sua capacidade de integrar conjuntamente diferentes fatores.

Dentro da abordagem heurística, destacam-se alguns modelos que utilizam a lógica matemática para a geração de cartas de suscetibilidade, como a Lógica Booleana, Lógica Fuzzy e o Método de Processo Analítico Hierárquico - AHP.

Nesta dissertação para a aquisição do mapa de suscetibilidade natural e induzida adota-se uma abordagem heurística, Método de Processo Analítico Hierárquico do inglês “*Analytic Hierarchy Process*”, conhecido como método AHP, faz-se a definição e explicação do método a seguir...

2.3.1 Método de Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP)

Um dos métodos probabilísticos para previsão de processos geomorfológicos como escorregamentos são os que adotam a técnica de Análise Multicritério (abordagem heurística) onde se adotam pesos para determinados fatores.

Dentre muitos autores que usam esse tipo de análise, cabe destacar Ross (1990, 2012); Crepani et al. (2001), Vaidya e Kumar (2004); Carvalho e Riedel (2005); Guzzetti (2006); Pfaltzgraff (2007), Cardozo e Herrmann (2011); Reis *et al.* (2012); Rodrigues; Calheiros; Melo (2013); Torres (2014); Brito (2014); Camarinha, Canavesi, Alvalá, (2014); Menezes Júnior (2015); Brito, Weber e Silva Filho (2017). Esses métodos são bastante difundidos porque são acessíveis e não requererem investimentos dispendiosos de tempo e dinheiro para efetivação, além da possibilidade de realizar diversos cenários.

Para este estudo, optou-se pelo uso do método *Analytic Hierarchy Process* - AHP, em português, Processo Analítico Hierárquico, por se caracterizar como um dos métodos de análise multicritério mais utilizados para estudos que trabalham com muitos fatores condicionantes. O AHP surgiu na década de 1970, como um importante instrumento de apoio à decisão, e foi originalmente desenvolvido pelo Prof. Thomas L. Saaty, tendo como objetivo principal a avaliação multicritério, ou seja, consiste na escolha entre alternativas mais ou menos importantes na ocorrência de determinados processos, onde se estrutura e combina as diferentes análises levando em consideração o processo de tomada de decisão. O método AHP é definido por Saaty (1991) como reflexo natural de funcionamento da mente humana. Uma vez que, ao defrontar-se com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, ele os agrega em grupos (hierarquia) segundo propriedades comuns.

O AHP é um método com base matemática, onde se é possível organizar e avaliar a importância relativa entre os critérios e checar a consistência dos julgamentos realizados. Segundo Saaty (1991) o método deve ser útil para formular problemas incorporando conhecimento e julgamentos de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, debatidas e priorizadas. Nesta perspectiva, uma das grandes vantagens do AHP é a possibilidade de se modelar um problema com dados quantitativos e com aspectos subjetivos, envolvendo também o grau de certeza ou incerteza envolvido no problema.

Apesar da subjetividade inerente a análise multicritério, uma das vantagens do AHP é que este permite validar a coerência matemática da formulação teórica da equação (equação explicitada na metodologia deste trabalho) proposta para o fenômeno, no caso estudado, os escorregamentos. Além disso, para se minimizar ao máximo possível a ocorrência de erros quanto a atribuição de pesos aos fatores, deve-se dar importância na ponderação das variáveis, comparação par a par, indo buscar referencial na literatura ou no conhecimento aprofundado do especialista.

Neste estudo, para atribuição de pesos às variáveis adotadas como fatores condicionantes da suscetibilidade tomou-se como referência estudos executados em outros lugares, considerando-se que há diversos trabalhos que utilizam o método AHP em várias regiões do mundo, cita-se a seguir quatro exemplos de aplicação desse método. Os dois primeiros foram realizados no Nordeste do Brasil, o terceiro foi aplicado na região Sul do Brasil e o último foi executado na região Nordeste da Turquia.

Torres (2014) e Menezes Júnior (2015) que utilizaram o método AHP para confeccionar a carta de suscetibilidade para duas localidades na região úmida do Estado de Pernambuco, ambos utilizaram cinco critérios: geologia, solos, curvatura, declividade e uso e ocupação da terra. Para a definição dos pesos tomaram como principal referência a classificação realizada pelo Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies – GEGEP/UFPE (2014). Os autores citados encontraram resultados satisfatórios que validaram as respectivas cartas de suscetibilidade.

Brito (2014), aplicou o método AHP para analisar a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS, a autora confeccionou dois cenários de suscetibilidade (natural e induzida), no primeiro cenário (suscetibilidade natural) foram consideradas quatro variáveis: declividade, geologia, distância de lineamentos e acúmulo de fluxo, para o segundo cenário (suscetibilidade induzida) agregou-se o uso e ocupação da terra. Esses mapeamentos quando cruzados com o inventário de escorregamentos apresentaram uma taxa de acurácia condizentes para sua validação.

Reis *et al.* (2012) realizou um estudo sobre a suscetibilidade natural e induzida a deslizamentos na região nordeste da Turquia. Considerou como fatores condicionantes para a suscetibilidade: litologia, declividade, orientação das encostas, uso e ocupação da terra, densidade de drenagem e a distância de estradas. Seus resultados também foram validados quanto a sua acurácia.

Enfatiza-se que os pesos atribuídos aos fatores que compõem o mapa de suscetibilidade utilizados nesta dissertação serão adotados levando em conta aspectos consagrados na literatura especializada, assim como as condições intrínsecas à área estudada. Toda a explicação das equações e matrizes referentes ao peso adotado, justificativas quanto ao peso de cada classe e fator utilizado, juntamente com a consistência destes, serão abordados no decorrer do item referente a metodologia.

2.4 Mapeamento Geomorfológico

Para a construção de um estudo de geomorfologia aplicada às situações urbanas se faz necessária a aplicação de um mapeamento geomorfológico, visando compreender a distribuição hierárquica das formas do relevo (AZAMBUJA, 2007). Segundo Silva (2007), o mapeamento geomorfológico é definido como um importante instrumento na representação do relevo da superfície terrestre, um contributo para a organização e interpretação coerente do território. No contexto desta pesquisa, o mapeamento geomorfológico irá auxiliar no entendimento do modelado terrestre, favorecendo uma melhor compreensão da paisagem

assim como na identificação dos compartimentos do relevo, dentro de uma perspectiva de análise integrada da paisagem (AMORIM, SILVA, CORRÊA, 2015).

Este tipo de mapeamento constitui-se como um excelente instrumento de análise ambiental, subsidiando proposta de planejamento e preservação do meio ambiente (GUERRA; MARÇAL, 2006). Sendo assim, procura-se evidenciar uma síntese de todas as variáveis do meio físico, apontando para as potencialidades e fragilidades do ambiente, sendo inconcebível entender a gênese e a dinâmica das formas de relevo sem que se entenda antes o mecanismo motor de sua geração, sem que perceba as diferentes interferências de componentes como, geologia, solos, cobertura vegetal, clima e ação antrópica em uma determinada paisagem (ROSS, 1990).

Para Corrêa (2006) uma dada unidade de relevo deve conter informações acerca de sua gênese, processos de superfície, formas espaciais, dados morfométricos, cronologia e uso da terra, passíveis de serem classificadas e mapeadas numa determinada escala de análise de acordo com a sua distribuição no espaço. Florenzano (2008), aponta a variável morfológica como a fase inicial para o entendimento dos demais aspectos do relevo. Sendo assim, dentro dessa variável que subdivide-se na **morfografia**, consiste na descrição qualitativa das formas terrestres, procurando-se definir a principal forma de relevo existente na área de estudo, em tempo que na **morfometria**, será feito a caracterização do relevo por meio de variáveis quantitativas, podendo-se gerar os seguintes mapas através do software ArcGis (mapeamento geomorfológico, hipsometria, declividade, forma da encosta e orientação da encosta).

A análise morfodinâmica, que concerne os processos atuais (ativos) endógenos e exógenos que atuam nas formas de relevo, procura entender a dinâmica superficial que está atuando na área de estudo, atentando-se para o fato de que os processos atuantes na atualidade nem sempre são os mesmo de tempos passados (FLORENZANO, 2008). Desta forma, na morfocronologia tem-se as características que correspondem ao período de formação das formas representadas.

No mapeamento geomorfológico enfatiza-se a morfografia e morfometria das formas de relevo, dessa maneira, tem-se a junção da análise qualitativa com a quantitativa, importantes na avaliação dos processos geomorfológicos (RODRIGUES e BRITO, 2000). As características geoambientais observadas são relacionadas a parâmetros morfométricos como rugosidade topográfica, declividade, forma dos topos e encostas, inseridos do arcabouço geológico, pedológico, cobertura vegetal, além de uso antrópico (ROSS, 1990; IBGE, 2009).

Interpretar o relevo se requer não somente identificar os padrões de formas ou tipos de vertentes e vales, tampouco descrever o comportamento geométrico das formas, cabe ao

pesquisador saber identificar as formas de relevo e correlacioná-las com os processos atuais e pretéritos, e, com isso estabelecer não só a gênese mas também sua cronologia (ROSS, 1990).

Para Christofolletti (2001) a aplicabilidade do conhecimento geomorfológico no planejamento urbano está assentada em duas perspectivas: a primeira refere-se aos estudos específicos das características morfológicas e dos processos morfogenéticos, componentes do sistema ambiental físico. A segunda, está ligada à análise da vulnerabilidade das áreas urbanizadas a “azares naturais”, enchentes, secas, deslizamentos, entre outros.

Nessa conjuntura, o potencial de aplicabilidade do conhecimento geomorfológico contribui significativamente para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas. Uma vez que os conhecimentos geomorfológicos fornecem informações cruciais para o Planejamento urbano podendo antever a ocorrência de catástrofes e danos ambientais (CHRITOFOLETTI, 2001; GUERRA; MARÇAL, 2006).

2.5 Uso e ocupação da terra, legislação ambiental e expansão urbana

A geomorfologia urbana deve ser vista como parte da dinâmica de mudanças do sistema urbano e oferece a compreensão dos processos ambientais, bem como das metamorfoses ocorridas na paisagem, resultantes da ação antrópica no espaço urbano (GUERRA, 2011).

O uso e a ocupação da terra em meio a análise geomorfológica está diretamente ligado ao impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente. No meio urbano, o uso de forma inadequada traz diversos problemas relacionados à erosão dos solos, escorregamentos, inundações, poluição dos recursos hídricos, dentre outros (ALMEIDA; FREITAS, 1996).

A análise evolutiva do uso da terra permite a identificação do aumento de áreas impermeabilizadas e sem infraestrutura, das superfícies de solo em exposição, assim como, à redução da cobertura vegetal, entre outros fatores, que podem contribuir para a potencialização de escorregamentos, principalmente quando desprovidos do planejamento urbano (LISTO, 2011). A escala temporal está diretamente correlacionada com o conceito de equilíbrio e evolução da paisagem, cuja mudança está atrelada às variações que possam ocorrer ao longo de um período (IBGE, 2009). Desta forma, o mapeamento de uso e ocupação da terra oferece informação passível de ser utilizada para o planejamento de atividades relacionadas com o uso dos recursos naturais e reordenamento das zonas de expansão urbana.

A ocupação urbana inadequada assim como a exploração do solo de forma indevida, pode acarretar em impactos socioeconômicos e até mesmo mortes (TORRES, 2014). A

expansão urbana de forma irregular se constitui em um grande problema para toda a sociedade. O planejamento urbano territorial deveria ter como principal objetivo a definição da melhor forma de se ocupar um município, setorizando regiões, definindo usos e potenciais suscetibilidades, tendo não apenas um viés econômico, mas também, socioambiental.

Atualmente os mapeamentos de uso e ocupação são viáveis pelo uso de imagens de satélite de média a boa resolução espacial, oferecendo agilidade, qualidade e baixo custo nos estudos, o que possibilita aos gestores públicos o conhecimento das áreas que são ou não favoráveis a habitação, diante das prerrogativas da lei.

Em termos de Lei de uso do solo, o município de Maceió possui uma legislação específica que trata da ocupação e ordenação das encostas, Lei 5.593/07 (Código de Urbanismo e Edificações). O Art. 6º afirma que é de responsabilidade do município licenciar e fiscalizar o parcelamento, o uso e a ocupação do solo assim como a execução das respectivas obras. No seu art. 139, está expresso que além das Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico (ZIAPs), as encostas, principalmente as que margeiam e separam as planícies litorâneas e lagunar dos planaltos, são consideradas áreas públicas paisagísticas, devendo ser preservadas em função do seu papel modelador da paisagem e mantenedor do equilíbrio ecológico.

Partindo para o âmbito Nacional a Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979 – (Lei Lehmann) determina que não será permitido parcelamento em terreno com declividade igual ou superior a 30% (~16,8°), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes. Assim, considera-se em situação de risco assentamentos em sítios de declividade superior a 30%. Já a Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal) é mais branda quanto à proteção dos ambientes de encostas, pois considera apenas as encostas com declividade superior a 45°, como sendo Áreas de Preservação Permanente - APP, tanto na zona rural quanto na zona urbana.

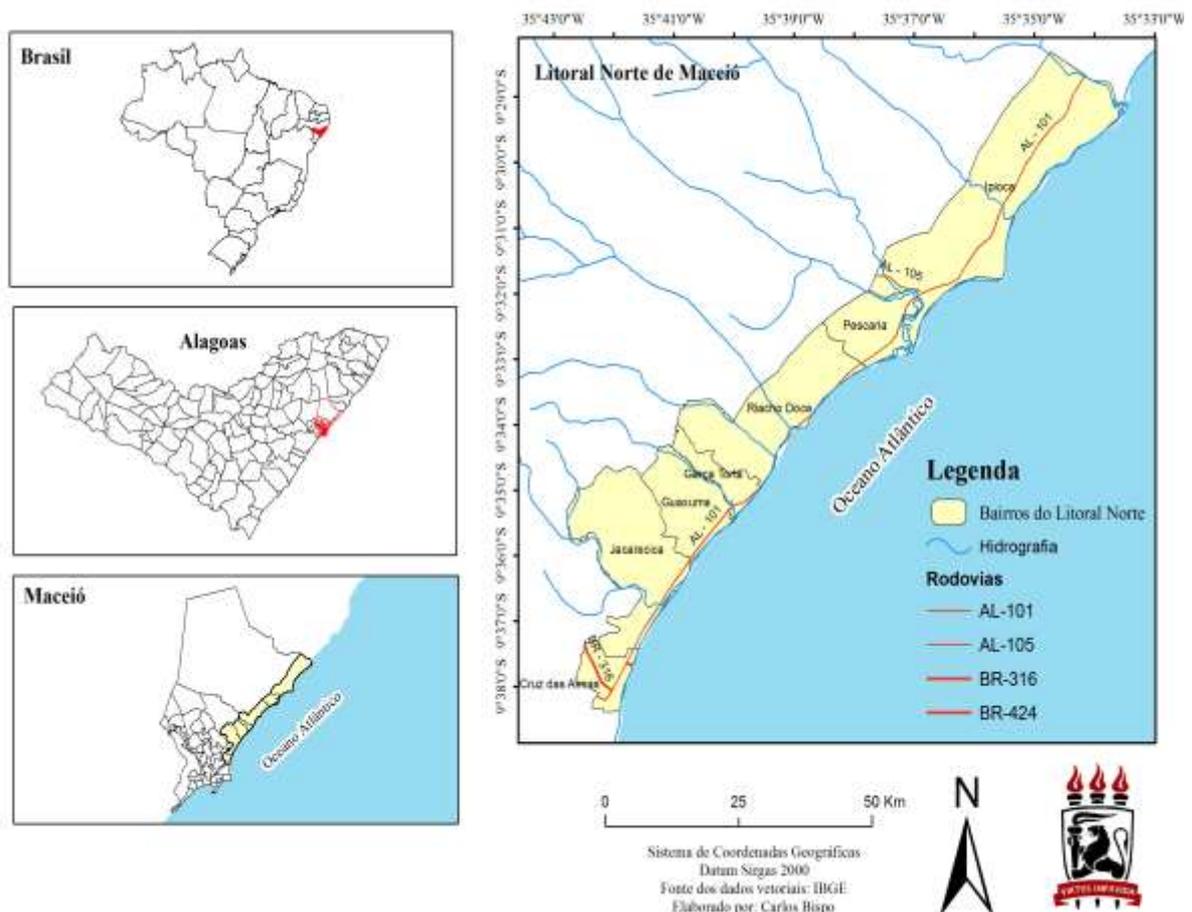
Visando controlar a ocupação do território urbano na perspectiva de diminuição dos riscos e desastres naturais, a Lei nº 12.608, de 2012, institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Por meio dessa lei dá-se autorização aos municípios para a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres ambientais. Essas leis ambientais, devem ser consideradas no momento de se fazer sugestões para o planejamento urbano.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Maceió está situado na faixa costeira do nordeste oriental, com área de 503,072 km² e população estimada de 1.029.129 habitantes, e área urbana de 233km², 99,93% da população maceioense é urbana (IBGE, 2017). Localiza-se na parte leste do Estado de Alagoas, e tem como limites ao norte, os municípios de Flexeiras, Paripueira; ao sul, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Marechal Deodoro; a oeste, Satuba, Rio Largo e Messias e a leste o Oceano Atlântico.

O perímetro urbano de Maceió está dividido oficialmente em 50 Bairros, (Lei municipal 4952/2000), constituindo-se por oito Regiões Administrativas – RA. A área estudada faz parte da RA 8 (Litoral Norte de Maceió), sendo cortada pela rodovia AL – 101 Norte (atualmente está em processo de duplicação), principal eixo de ligação entre Maceió e outros municípios limítrofes, possui aproximadamente 25 km de extensão. A RA 8, engloba os seguintes bairros: Cruz das Almas, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca (Figuras 15 e16).

Figura 15 - Mapa de Localização da área estudada



Fonte: IBGE, adaptado pelo autor (2017)

Figura 16 - Imagem de satélite da área de estudo

Fonte: Google Earth (2017)

Na Tabela 3 mostra-se o quantitativo populacional de cada um desses bairros e a soma da população que vive na região denominada de Litoral Norte, assim como a quantidade de domicílios.

Tabela 3 - Quantitativo populacional e domiciliar da RA 8 (por bairros)

BAIRROS – RA 8	POPULAÇÃO	DOMICÍLIOS
Cruz das Almas	11.708	4.455
Jacarecica	5.742	2.200
Guaxuma	2.481	872
Garça Torta	1.635	609
Riacho Doce	5.218	1756
Pescaria	2.784	969
Ipioca	7.580	3033
RA 8 (Litoral Norte)	37.148	13.894

Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

Pelos dados demográficos referentes ao censo (IBGE, 2010) e sabendo que a área de estudo abrange uma superfície aproximada de 53 km², a densidade demográfica da área de estudo é de 700 habitantes por km².

3.1 Aspectos Geoambientais

O município de Maceió está assentado em um substrato geológico de origem sedimentar neocenozóicos pertencente à Bacia Sedimentar Alagoas. De acordo com Araújo *et al.*, (2006) a bacia ocupa uma faixa costeira alongada de cerca de 220 km de extensão e com 40 km de largura média, tendo como limite norte a Bacia Pernambuco, o alto de Maragogi, e ao sul o Alto de Japoatã-Penedo com a Bacia Sergipe. Ainda de acordo com Araújo *et al.* (2006), a Bacia Alagoas assenta sobre rochas do embasamento, e sua história deposicional tem início no Paleozoico superior.

No final do Terciário e início do Quaternário foram depositados os clásticos da Formação Barreiras, que serviram de cobertura para o registro sedimentar (Figura 17). Assim, sua sedimentação é predominantemente fluvial ocorrida durante o período Terciário que modelou o relevo de Maceió no formato de Tabuleiros com espessuras que variam de 20 a 100 m, (Formação Barreiras). Os declives nestes tabuleiros mostram-se acentuados e vertendo para a linha da costa ou planície costeira (MACEIÓ, 2007).

Figura 17 - Talude de corte com sedimentos da Formação Barreiras



Fonte: autor (2017)

Litologicamente, a Formação Barreiras é predominantemente composta por sedimentos pouco ou mal consolidados, depósitos de areias grossas, intercaladas por estratos rítmicos de areia fina e/ou argila, que por suas próprias características granulométricas e

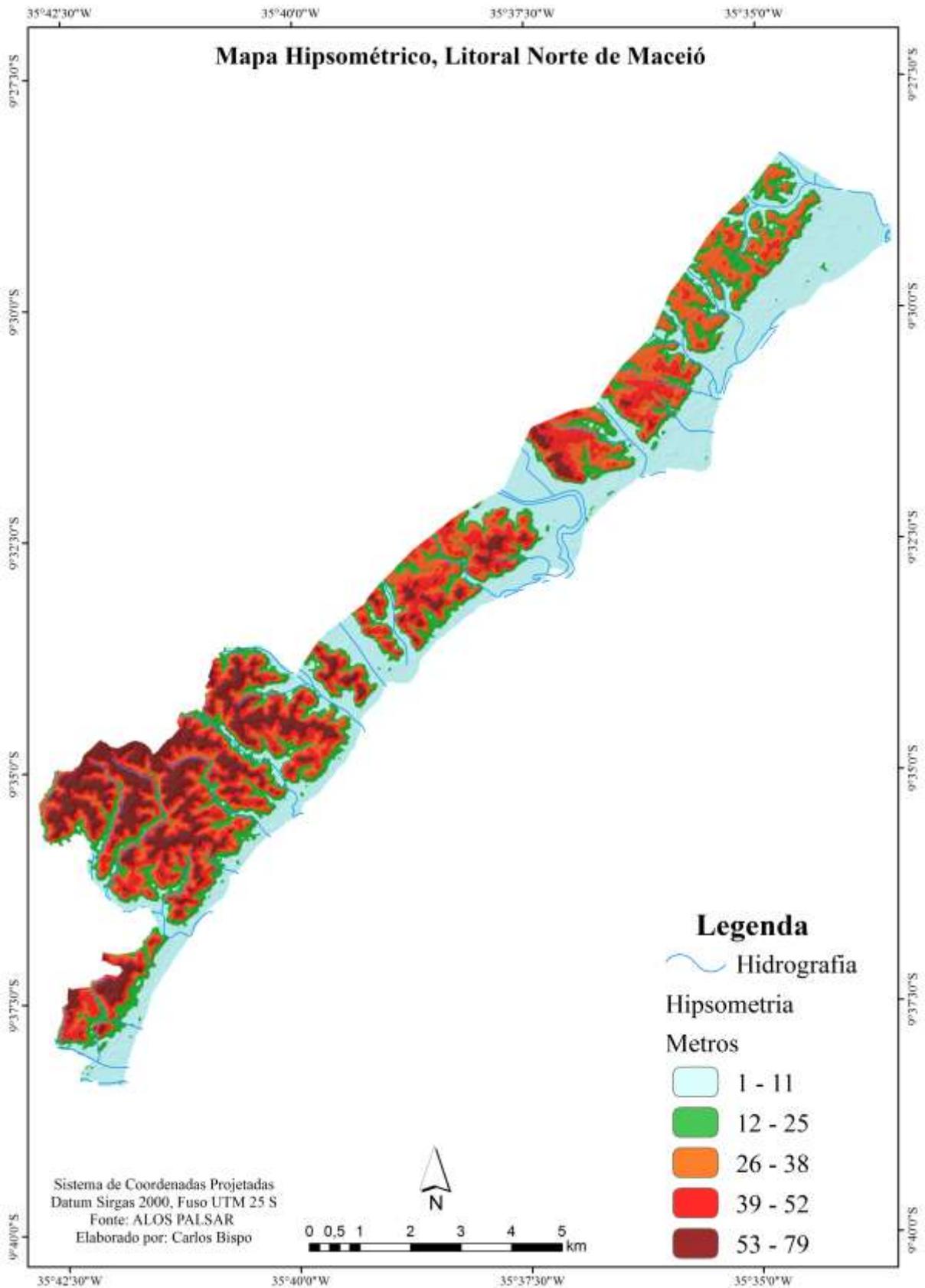
mineralógicas são bastante friáveis. A umidade e o teor em silte variam ao longo dos perfis desta formação, apresentando suscetibilidade à erosão e processos de escorregamentos (MACEIÓ, 2007; PFALTZGRAFF, 2007).

Quantos aos processos morfológicos atuantes em Maceió, estes estiveram condicionados pelo tectonismo tardio da Bacia Sedimentar de Alagoas, pelas oscilações climáticas regionais e pelas variações eustáticas quaternárias (MACEIÓ, 2007).

Define-se três compartimentos morfogenéticos principais para Maceió, os Tabuleiros, as Planícies Flúvio-Lagunares e a Planície Marinha (COSTA; RAMOS, 2004). As planícies litorâneas e lagunar, que são resultado da ação do mar, dos rios e do vento nos últimos 120.000 anos, favoreceu a formação de terraços marinhos, lacustres, cordões arenosos e antigos estuários afogados que deram origem às lagoas.

O relevo do município de Maceió apresenta predomínio de terras baixas com altitudes inferiores a 100 metros. As vertentes (encostas) encaixadas nos tabuleiros, formam vales em forma de “V”, cuja amplitude (vertical) varia de 40 a 60 metros, sendo entrecortadas por cursos hidrográficos que desaguam no oceano (Figura 18). Os cursos d’água são em geral de pequena extensão, com vales estreitos, profundos e de caráter temporário, tendo normalmente suas margens ocupadas por população de baixa renda, (MACEIÓ, 2007).

Figura 18 - Mapa Hipsométrico da área de estudo



Fonte: Alos Palsar, adaptado pelo autor (2018)

As encostas separam as planícies fluvial e marinha da região do Tabuleiro, sendo constituídas por sedimentos friáveis da Formação Barreiras. Os Tabuleiros são os representantes da unidade mais característica da costa alagoana, sendo constituídos pela Formação Barreiras. Esta unidade elevada possui declividade das bordas dos tabuleiros que atinge as cotas topográficas de 20 até 100 metros, mostrando uma ligeira inclinação no sentido do oceano, tendo seu limite com a planície quaternária marcado por falésias. Nas vertentes e topo dos tabuleiros da Formação Barreiras predominam solos arenoargilosos finos com baixa resistência condicionada ao teor de umidade e proporção da fração dos finos (BRASIL, 2007), condição favorável à ocorrência de escorregamentos.

Já a planície litorânea-lagunar ocorre em toda a linha de costa, sendo representada por uma faixa de largura variável, de centenas de metros até alguns quilômetros. Sobre essa feição desenvolveram-se terraços marinhos, recifes de coral e algas, arenito de praia, dunas fixas e manguezais (COSTA; RAMOS, 2004; MACEIÓ, 2007).

Dentro da análise geomorfológica, os solos são de suma importância, pois estes aliados as formas do relevo são a resposta do balanço morfogênese e da pedogênese. A distribuição espacial dos solos e a sua dinâmica interna, atual ou pretérita, são condicionadas pelos processos pedogenéticos, responsáveis pela formação dos solos, ou morfogenéticos, responsáveis pela enculturação do relevo (CREPANI, *et al.*, 2001).

Em relação aos solos predominantes no recorte estudado, mapeou-se quatro associações de solos, correspondendo a: Gleissolos Háplicos, Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Solos de Mangue. A seguir será realizada uma breve caracterização de cada classe de solo e suas variações.

Os Latossolos, umas das classes relevantes na área de estudo, tem como características solos minerais, não hidromórficos e evoluídos do ponto de vista pedogenético. Em geral, são profundos e uniformes no conjunto de suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. Em função da alta evolução pedogenética, os Latossolos são potencialmente destituídos de minerais primários ou secundários alteráveis. Em consequência, predominam no perfil basicamente óxidos e, ou hidróxidos, argilominerais 1:1 (principalmente caulinita), quartzo e alguns poucos minerais resistentes ao intemperismo. Pode apresentar-se nas cores amarelas, vermelho-amarelas e vermelhas (EMBRAPA, 2012).

Em meio as associações, estão presentes os Latossolos Amarelos (em maior proporção) e Latossolos Vermelho-Amarelos (em menor proporção). Os primeiros têm como características, solos profundos, horizonte Bw de coloração amarelada, fração argila

essencialmente caulínica e, na grande maioria dos casos, baixos teores de óxidos de ferro, originados principalmente, a partir de sedimentos da Formação Barreiras e, em menor proporção, a partir de rochas do Pré-Cambriano. O outro tipo de solo, Latossolos Vermelho-Amarelos, constitui-se por solos com as características gerais dos Latossolos, mas que se individualizam em um nível categórico imediatamente abaixo por critérios de cor; a textura varia de média a argilosa no Bw, enquanto a consistência no solo úmido é friável ou muito friável (Ibid.).

Outra classe bastante significativa no contexto estudo, são os Argissolos, que assim como os Latossolos, apresentam bastante sedimentos da Formação Barreiras, com textura variando de arenosa/média até média/muito argilosa. Possuem uma grande variedade de solos minerais, não hidromórficos, com significativa diferença de textura entre o horizonte superficial A e o de subsuperfície B textural (Bt), com acúmulo significativo de argila. Na área estudada destacam-se os Argissolos Amarelos que possuem teores de ferro baixos, presente principalmente em meio aos Tabuleiros costeiros. São caulínicos, predominantemente distróficos, com baixa soma de bases trocáveis e reação de pH na faixa moderadamente ácida. Já os Argissolos Vermelho-Amarelos são predominantemente caulínicos, distróficos, havendo uma pequena parcela de solos eutróficos, mas, em geral, com baixa soma de bases trocáveis (Ibid.).

Dentro das associações, os Neossolos também estão presentes, estes apresentam-se como solos pouco desenvolvidos, constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico. Na área estudada tem-se associações de Neossolos Quartzarênicos, que são solos minerais derivados de sedimentos areno quartzosos da Formação Barreiras e sedimentos marinhos, apresentando textura arenosa. Os Neossolos Flúvicos são solos derivados de sedimentos fluviais estratificados, de modo que as camadas não guardam relação pedogenética entre si (Ibid.).

Outro tipo de classe presente na área de estudo são os Gleissolos, e especificamente os Gleissolos Háplicos, constituído de minerais hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, formados em terrenos baixos com influência de excesso de umidade (permanente ou temporário) sendo bastante expressivos nos ambientes das várzeas úmidas da zona costeira. De constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do período do Holoceno, em condições naturais, são mal drenados (Ibid.).

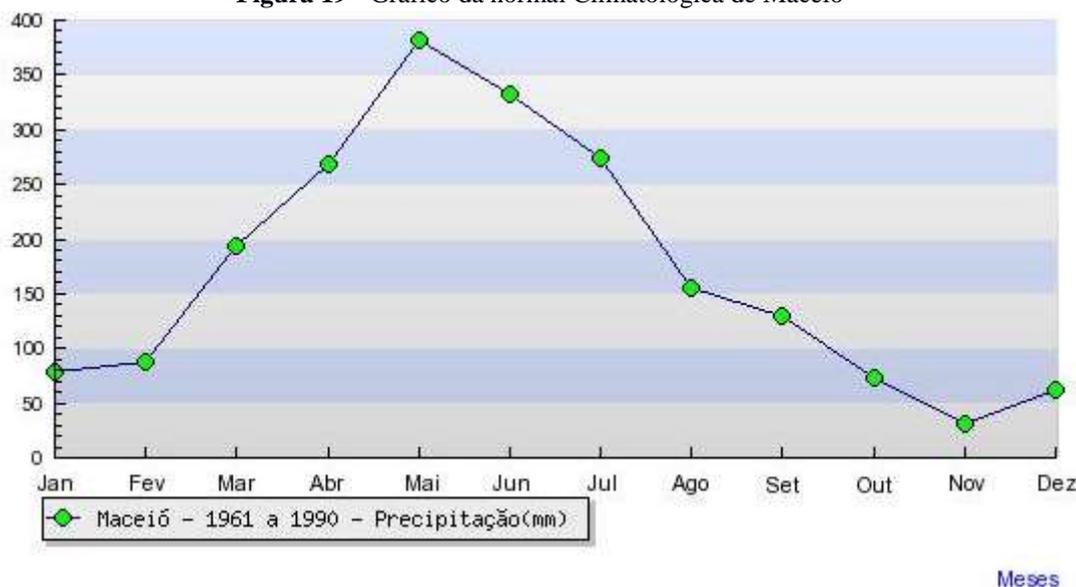
O último tipo de solo identificado na área de estudo, de acordo com a classificação da Embrapa/ZAAL (2012), são os chamados Solos Indiscriminados de Mangue (compreendem principalmente Gleissolos e Organossolos com caráter tiomórfico). Representam solos halomórficos pouco a muito pouco desenvolvidos, escuros e lamacentos com alto conteúdo de sais provenientes da água do mar, formados no ambiente dos manguezais. Constituí sedimentos recentes, de natureza mineral em mistura com matéria orgânica (Ibid.).

Inserido nos domínios da Mata Atlântica, o município de Maceió apresenta uma cobertura vegetal diversificada composta de espécies nativas e exóticas. Ao longo do litoral ocorre a vegetação de restingas, e manguezais margeando praias e estuários. Os mangues, vegetação que se desenvolve em áreas onde ocorre influência flúvio-marinha estão distribuídos na foz dos rios Jacarecica, Riacho Doce, Pratygy e Sauasuy. A área em estudo foi totalmente devastada para a construção da moradia e abertura de estradas (COSTA; RAMOS, 2004; MACEIÓ, 2007).

Entre os aspectos geoambientais, os fatores climáticos são de extrema relevância perante a dinâmica da paisagem; pensando-se numa perspectiva de caráter integrador e sistêmico, atua como grande propulsor e dinamizador do sistema, ou seja, é por meio dos agentes climáticos que são regidos os processos geomorfológicos, como intemperismo, erosão, escorregamentos, entre outros, responsáveis pelas mudanças na paisagem.

Em regiões de clima tropical, que apresenta pluviometria elevada e concentradas em determinadas estações do ano, assim como Maceió, a chuva é o elemento importante no desencadeamento de processos geomorfológicos como escorregamentos.

A área de estudo desta pesquisa está dentro da grande faixa costeira na porção leste do Nordeste (ENE), que compreende do Rio Grande do Norte ao Sul da Bahia, apresentando clima quente e úmido e pluviometria entre 600 mm e 3.000 mm, (no caso de Maceió a precipitação anual média é de 1.800 mm), sendo que o período mais chuvoso concentra-se no outono/inverno, com picos maiores de chuva no mês maio, sendo o período seco nas estações primavera/verão, consistindo o mês de novembro o menos chuvoso (Figura 19).

Figura 19 - Gráfico da normal Climatológica de Maceió

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (adaptado).

O período de maior índice pluviométrico abril-julho, acontece devido ao deslocamento da Zona de Convergência do ENE (ZCEN), alimentada pela convergência de umidade dos Alísios com a brisa terrestre (SOUZA, *et.al.*, 1998; MOLION e BERNADO 2000).

A época de maior incidência de processos de escorregamentos geralmente coincide com o período das chuvas, intensas e prolongadas, no caso de Maceió entre os meses, abril-julho, isso justifica-se pelo fato das águas escoadas e infiltradas, percolarem no solo desestabilizando as encostas.

Alguns sistemas climáticos exercem influência direta e/ou indireta no regime pluviométrico de Maceió, dentre os quais destacam-se, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Os sistemas Frontais (SF); as ondas de Leste, os Ventos Alísios de Nordeste e Sudeste e as brisas. (SOUZA, *et.al.*, 1998; MOLION; BERNADO, 2002).

Sobre esses sistemas ainda há a influência do *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) que provoca uma intensificação da seca no semiárido nordestino e a diminuição das chuvas na região costeira. Já em épocas de atuação do *Lã Niña*, a entrada de sistemas frontais é mais incisiva, havendo aumento da magnitude do vento sobre o pacífico equatorial implicando no deslocamento das massas de ar para regiões mais próximas ao Equador (MOLION E BERNADO, 2002).

3.2 Breve histórico de Maceió no contexto de sua expansão urbana

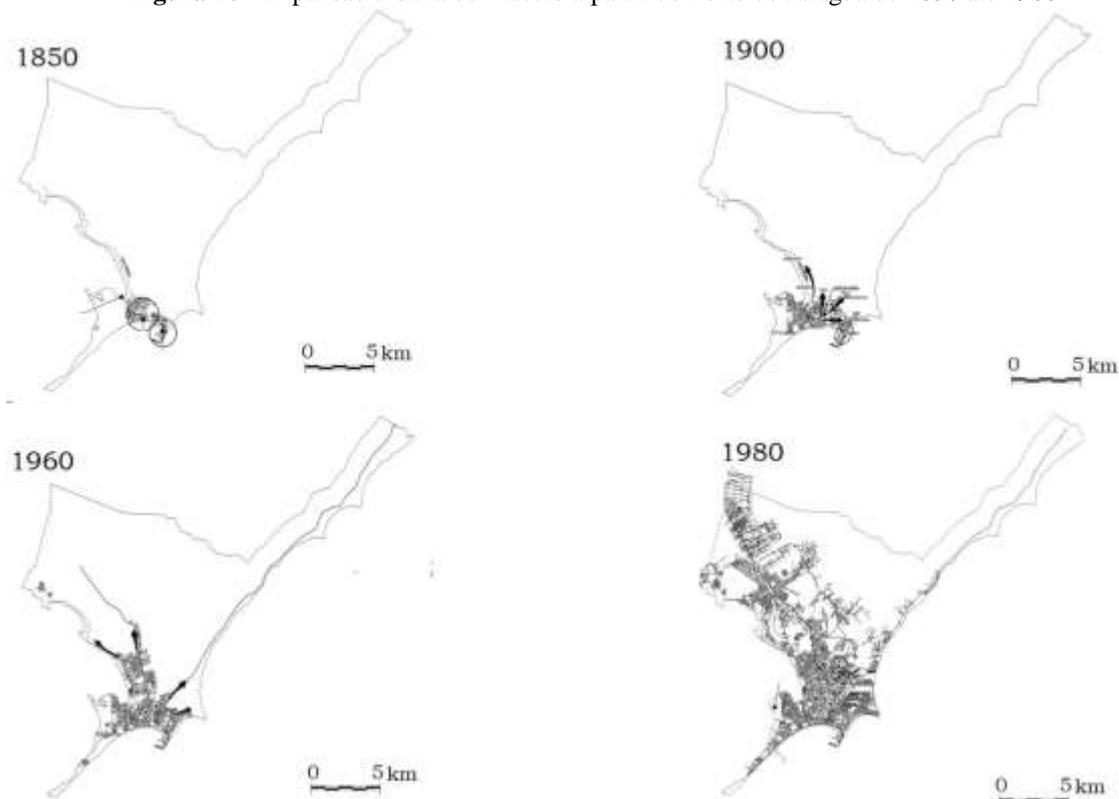
O nome Maceió é originário do tupi "Massayó-k", que quer dizer "o que tapa o alagadiço", numa alusão à formação de areia e sedimentos que se situam na ligação entre a laguna Mundaú e o oceano Atlântico, já que uma parte significativa do território maceioense

está encravado entre o Atlântico e a Laguna Mundaú, o que fez o geógrafo Ivan Fernandes Lima denominar Maceió como a cidade-restinga (LIMA, 1990). De acordo com autores mais recentes a nomenclatura cidade restinga está em desuso, pois o termo restinga se associa a um ecossistema.

A fundação do município de Maceió data de 1815, a partir do desmembramento do antigo município de Alagoas, atual Marechal Deodoro, enquanto sua elevação à condição de vila deu-se após um ano, em 1816. Maceió torna-se capital da província em 1839 (CAMPOS; CARVALHO; TENÓRIO, 2006).

A formação do sítio urbano de Maceió dá-se em torno do riacho Maçayó, no final do século XVIII, situado onde é hoje o atual Riacho Salgadinho, nessa região instalou-se à época o Engenho Maçayó, com isso a população passou a ocupar as áreas próximas ao engenho de açúcar principal polo empregatício. Depois desse estágio seminal de povoamento, anos mais tarde (meados do século XIX) com o encerramento das atividades do engenho, o Porto de Maceió, situado onde é atualmente o bairro Jaraguá, passou a ser o principal polo empregatício e de desenvolvimento. Partindo dessa ideia, Romão; Santos; Badiru (2016), ilustram o desenvolvimento de Maceió tomando como referência o Porto de Maceió, desde a década de 1850 até 1980 (Figura 20).

Figura 20 - Expansão urbana de Maceió a partir do Porto de Jaraguá de 1850 até 1980

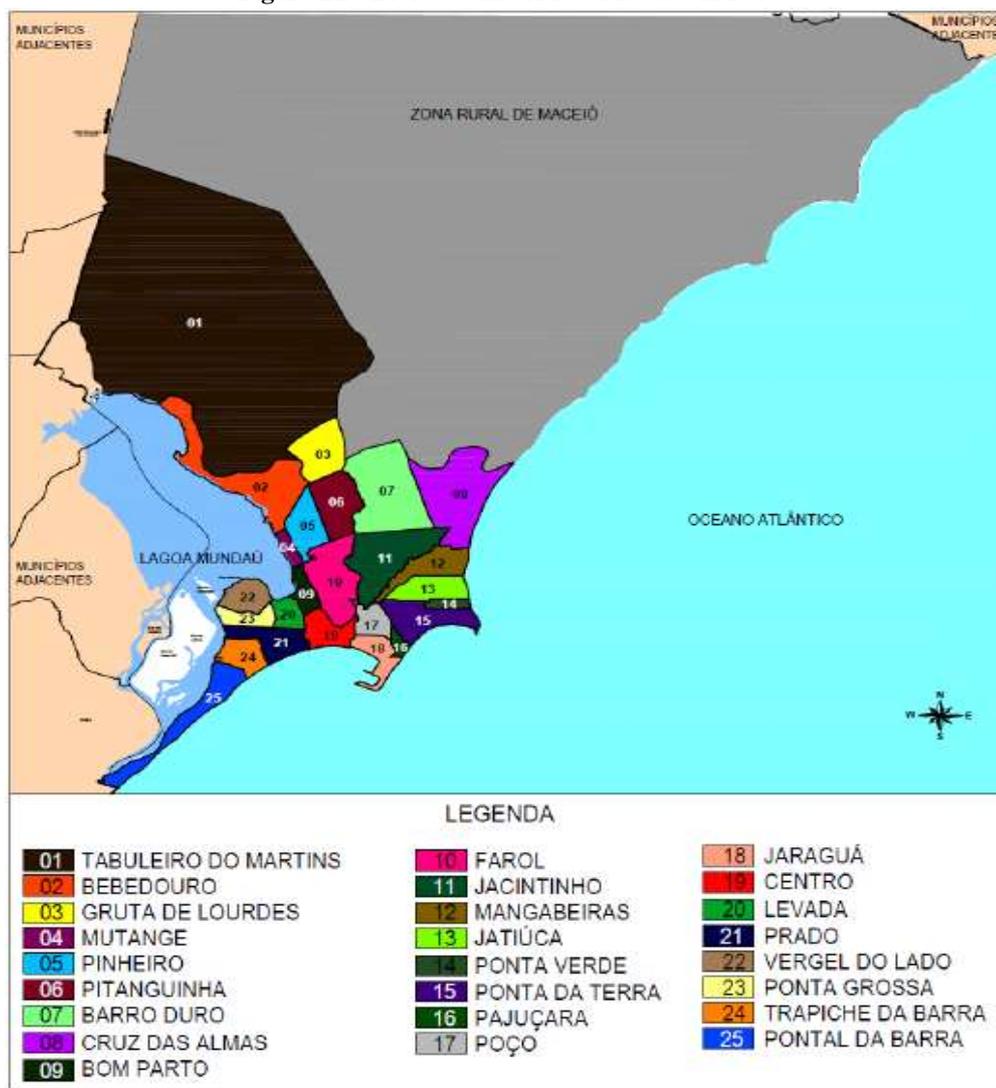


Fonte: Romão; Santos; Badiru (2016)

Com base na Figura 19, percebe-se que até a década de 1980, a expansão urbana ainda não havia se espreado ao longo da atual RA 8, o que viria a acontecer nas décadas seguintes, principalmente a partir dos anos 2000, pois o processo de urbanização de Maceió só começa a acelerar a partir da segunda metade do século XX, acompanhando a tendência nacional, nesse caso específico devido à imigração rural do interior de Alagoas.

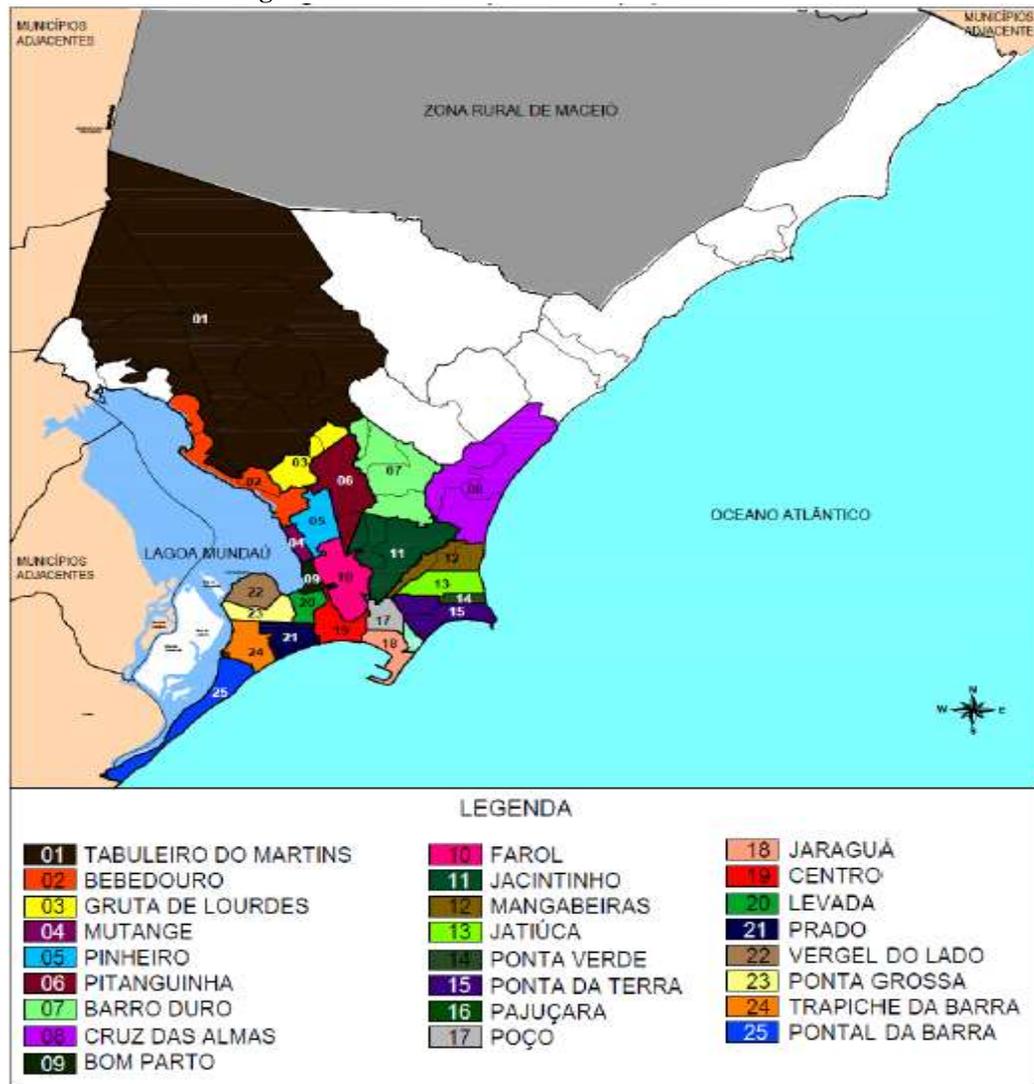
No ano de 1998, a cidade de Maceió teve a aprovação por meio da Lei Municipal Nº 4.687/98, que determinava a ampliação do seu perímetro urbano, passando de 112,5 Km² para 197,4 Km² (área atual), dobrando-se o número de bairros, de 25 no ano de 1980 (Figura 21) para 50 bairros, atualmente, os polígonos em branco representam os novos bairros (Figura 22). Dentro dessa nova delimitação está a área em estudo, pois foi pela Lei supracitada que os bairros que formam RA 8 foram criados, embora, Cruz das Almas já existisse em 1980. Os demais, como Guaxuma, Garça Torta e Riacho Doce figuravam como povoados (área rural).

Figura 21 - Divisão territorial de Maceió em 1980



Fonte: Japiassú (2015)

Figura 22 - Divisão territorial de Maceió no ano 2000



Fonte: Japiassú (2015)

Conforme se observa na figura 22, no ano 2000, de fato a prefeitura de Maceió estendeu sua malha urbana, aumentando a quantidade de bairros (polígonos em branco no mapa), dentre estes os que englobam a RA 8 atual.

Para Carvalho (2005), a falta de alternativas no interior do Estado e a dinâmica econômica municipal um pouco superior à média estadual tem feito com que Maceió represente um fortíssimo polo de atração populacional, com um crescimento urbano acelerado, mas desigual. A expansão do município de Maceió está intimamente ligada as suas condições geomorfológicas, visto que a cidade se situa entre o Oceano Atlântico e a Laguna Mundaú, dotada de um relevo diversificado com estreitas planícies, marinha e lagunar, e tabuleiros cortados por inúmeras grotas (vales).

No final dos anos de 1980, em decorrência de uma grande inundação nas margens da laguna Mundaú, muitas famílias perderam suas moradias (COSTA, RAMOS, 2004), este fato

juntamente com as dificuldades de acesso a terra e habitação, intensificaram a ocupação de áreas de risco e de preservação ambiental pela população de baixa renda.

A quantidade de aglomerados subnormais (favelas) têm aumentado exponencialmente em Maceió. Nos primeiros anos do século XXI foram contabilizados mais de cem conjuntos de habitações desse tipo, sendo grande parte localizados em encostas, configurando - se como áreas de risco (COSTA, RAMOS, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo tem como objetivo sintetizar os procedimentos metodológicos que permitiram atingir os objetivos propostos nesta dissertação. No subcapítulo 4.1, detalha-se todos os insumos necessários para a geração do banco de dados geográficos requeridos neste trabalho. O subcapítulo 4.2, trata dos procedimentos para confecção das cartas e suscetibilidade (natural e induzida); assim como a definição do grau de suscetibilidades das classes dos mapas que influem nas cartas de suscetibilidade, além da descrição da estruturação do método AHP e estruturação deste para área estudada. O subcapítulo 4.3, apresenta como foi realizada validação das modelagens de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos.

4.1 Geração da Base de Dados

Todo o conjunto de dados geográficos em análise foi estruturado dentro de um SIG, para possibilitar a organização dos mapeamentos, oferecendo insumo para as análises seguintes.

Para se atingir os objetivos específicos elencados, foram realizadas algumas etapas que se autocomplementam; na primeira etapa são analisadas as variáveis morfológicas (morfografia, morfometria) e da morfodinâmica, variáveis fundamentais e comumente utilizadas nas análises geomorfológicas. Posteriormente tem-se o mapeamento de uso e ocupação da terra. Será detalhada a metodologia para aquisição do mapa de suscetibilidade, assim como a sua validação.

As camadas de informação foram elaboradas numa escala de 1:50.000, sob o Sistema de Coordenadas *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 25 S, correspondente ao meridiano central -33° e Datum de referência Sirgas 2000.

Todos os procedimentos ligados ao Geoprocessamento tiveram início a partir da criação de um ambiente SIG. Inicialmente buscou-se dados do satélite *ALOS PALSAR Global Radar Imagery*, disponibilizado gratuitamente, onde foi feito o *download* do Modelo Digital de Elevação (MDE) (conhecidos em inglês por DEM – *Digital Elevation Model*) com resolução espacial de 12,5 metros, o Datum e o elipsoide de referência foi o WGS 84, Zona 25 S. Então, através do MDE proveniente do satélite *ALOS PALSAR*, realizou-se procedimentos de Processamento Digital de Imagem (PDI) através do *software ArcGIS*, melhorando a sua qualidade.

Para a pesquisa geomorfológica o MDE é bastante útil, oferece uma visão tridimensional dos objetos de estudo, permite a verificação das variáveis que influenciam na

atuação dos processos morfodinâmicos e na geomorfogênese. Elementos como declividade, cobertura vegetal, tipologia das formações superficiais, podem ser analisadas de maneira integrada em formato tridimensional (CARVALHO, BAYER, 2008; IBGE, 2009).

Desta forma, todos os parâmetros topográficos utilizados nesta pesquisa são provenientes do MDE (*ALOS PALSAR*), com resolução de 12,5 m e escala de 1:50.000. A partir deste MDE foram gerados os Mapas de Hipsometria, Declividade, Formas do terreno. Todos os mapas topográficos foram gerados numa rotina automatizada no *ArcGIS*, dentro da caixa de ferramentas *ArcToolbox /3D Analyst Tools/Raster Surface*.

O mapa de Solos (1:100.000) foi obtido através do Zoneamento Agroecológico de Alagoas (ZAAL) executado pela Embrapa. Já o mapa das unidades geológicas (1:250.000) provém do mapeamento feito em Alagoas pela CPRM.

Quanto ao mapeamento geomorfológico, dentro dos parâmetros metodológicos, seguiu-se as normas estabelecidas pelo IBGE (2009). Dentro das análises morfológicas, adota-se como aporte teórico metodológico o manual de mapeamento geomorfológico de detalhe (DEMEK, 1972) e do manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009), sendo assim, o mapa de detalhe, pode ser caracterizado com escalas entre 1:25.000 e 1:50.000, ou mesmo 1:100.000 em regiões com poucas informações. Nessas condições, as formas de relevo da área estudada, serão mapeadas numa escala compatível com as recomendações da UGI para os mapeamentos geomorfológicos de detalhe.

O mapa das unidades geomorfológicas foi confeccionado a partir de dados topográficos adquiridos via imagem *ALOS PALSAR* com resolução de 12,5 metros, (declividade, altimetria, curvas de nível), juntamente com elementos como litologia, solo e imagens de satélite (*RapidEye*, *Google Earth Pro*) e levantamentos de campo, essenciais para compreender a complexidade de formas existentes na área estudada. Os procedimentos foram realizadas dentro de um ambiente SIG no *ArcGIS*, com auxílio do *Google Earth Pro*. Desta forma conseguiu-se obter como resultado os compartimentos geomorfológicos existentes na área estudada (SILVA, 2007; IBGE, 2009; AMORIM; SILVA; CORRÊA, 2015).

No que se refere a análise do uso e ocupação da terra, a mesma permitiu a identificação das diversas formas de uso na área de estudo e suas relações e implicações quanto a expansão urbana atualmente.

Como os órgãos gestores do município de Maceió não possuem fotografias aéreas, optou-se por usar imagens de satélite de boa resolução espacial proveniente do satélite *RapidEye*, referente ao ano de 2015 (imagem mais atual, disponível) (LISTO, 2011).

A imagem foi adquirida no catálogo de imagens do satélite *RapidEye*, administrado pelo MMA. A resolução espacial das imagens *RapidEye* são de 5 metros, capaz de alcançar precisão de detalhe compatível com escala de 1:25.000. Desta forma, esta imagem foi interpretada no software *ArcGIS*, visando a análise do uso e ocupação da terra, a classificação foi feita de forma manual, pela delimitação de polígonos (via caixa *ArcCatalog*) de acordo com as classes de uso e ocupação da terra na área, tendo como referência Almeida e Freitas (1996), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Principais classes de uso e ocupação da terra e suas características

Classes	Características
Cobertura Vegetal Natural	Inclui áreas cobertas principalmente por mata e capoeira. Nas áreas urbanas encontram-se em áreas restritas, onde o relevo é mais enérgico, ou nas áreas de preservação
Campo Antrópico/ Pastagens	Áreas onde predominam vegetação herbácea, alguns arbustos e árvores esparsas e campos agricultáveis.
Solo exposto	Áreas desprovidas de cobertura vegetal.
Área Urbana consolidada	Caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infraestrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc.
Área Urbana em Consolidação	Constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução.
Área Urbana Parcelada/Favelas	Corresponde à ocupação periférica, de densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infraestrutura e equipamentos urbanos.

Fonte: Adaptado de Almeida; Freitas (1996)

4. 2 Confeção das Cartas de Suscetibilidade (Natural e Induzida)

Foram confeccionadas duas cartas de suscetibilidade a escorregamentos, através do método multicritério e álgebra de mapas, com a ponderação das variáveis via método AHP, onde se atribuiu pesos numéricos aos critérios utilizados. Para a carta de suscetibilidade natural serão utilizados os seguintes critérios: **Geologia, Geomorfologia, Solos, Formas do Terreno e Declividade**, totalizando cinco critérios. Já para a carta de suscetibilidade induzida foi acrescido aos critérios da suscetibilidade natural o **Uso e Ocupação da Terra**, num total de seis critérios.

Embora a pluviometria seja considerada uma variável importante no estudo da suscetibilidade a escorregamentos, no município de Maceió as chuvas ocorrem de forma pouco variada, e, diante da indisponibilidade de dados pluviométricos de áreas específicas para auxiliar na organização do mapa de forma fidedigna, optou-se por não incorporar mais esse critério à análise do AHP. No entanto, a sua relevância enquanto grau de suscetibilidade está embutida nos demais critérios (PFALTZGRAFF, 2007). Destarte, a pluviometria não foi considerada como condicionante, mas sim como principal agente deflagrador do processo, obedecendo as considerações de Augusto Filho e Cerri, (1988).

4.2.1 Grau de Suscetibilidade

Dentro dos procedimentos metodológicos, inicialmente definiu-se três níveis de suscetibilidade aos escorregamentos, assim como nos trabalhos de Pfaltzgraff (2007), Torres (2014) e Menezes Júnior (2015). Para isso, fez-se necessário primeiramente classificar os atributos dos mapas no *ArcGIS*, reclassificando-os em uma coluna de “peso” que resultará nos níveis de suscetibilidade para cada atributo, distribuídos em 1 = baixo, 2 = médio e 3 = alto, ferramenta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify* no *ArcGis* 10.3.1.

Para esta parte, relativa a definição dos graus de suscetibilidade dos atributos de cada um dos cinco critérios utilizados, tomou-se como referência para a definição dos pesos, a classificação realizada pelo Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies – GEGEP/UFPE (2014) e demais trabalhos produzidos acerca do mesmo fenômeno e características geoambientais semelhantes, como visto em Torres (2014) e Menezes Júnior (2015), diante disso, foram realizadas as devidas adaptações considerando o ambiente estudado.

Adiante, mostra-se a definição dos graus de suscetibilidade para cada um dos atributos dos seis critérios utilizados para elaborar as modelagens de suscetibilidade natural e induzida: Geologia, Solos, Geomorfologia, Formas do Terreno, Declividade e Uso e Ocupação da Terra.

4.2.2 Geologia

Na área de estudo foram mapeadas quatro Unidades Geológicas: Formação Barreiras, Depósitos Fluviais, Depósitos Litorâneos e Depósito de Manguezais, estas foram classificadas de acordo com os graus de suscetibilidade (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Geologia

Unidades Geológicas	Grau de Suscetibilidade	Características Gerais
Depósitos de Manguezais	1	Sedimentos compostos por areia, silte e materiais orgânicos.
Depósitos Litorâneos	2	Depósitos arenosos e areno-argilosos e fluviais.
Depósitos Fluviais		
Formação Barreiras	3	Sedimentos pouco ou mal consolidados, depósitos de areias grossas, intercaladas por estratos de areia fina e/ou argila.

Fonte: Adaptado de Pfaltzgraff, (2007); GEGEP/UFPE, (2014) e Rodrigues; Calheiros e Melo (2013)

4.2.3 Geomorfologia

Na área de estudo foram mapeadas cinco Unidades Geomorfológicas: Planície Fluvial, Planície Flúvio-marinha, Tabuleiros Dissecados de topo plano, Tabuleiros Dissecados Convexos e Encostas. Estas foram classificadas de acordo com os graus de suscetibilidade (Quadro 2).

Quadro 2 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Geomorfologia

Unidades Geomorfológicas	Grau de Suscetibilidade	Características Gerais
Planície Fluvio-marinha Planície Fluvial	1	Modelados de acumulação;
Tabuleiros Dissecados Tabuleiros Convexos	2	Modelados de denudação;
Encostas	3	Modelados de denudação, forte influência da declividade.

Fonte: Adaptado de Rodrigues; Calheiros e Melo (2013)

4.2.4 Solos

Para realizar a classificação dos atributos do mapa de solos, inicialmente atribuiu-se a classificação de cada classe de solo encontrado (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Solos

Classes de solos	Grau de Suscetibilidade	Características Gerais
Neossolos Quartzarênicos	1	Solos arenosos com permeabilidade muito alta, distribuídos nas planícies marinhas e restingas, local dos coqueirais e extensões urbanas.
Neossolos Flúvicos		
Solos Indiscriminados de Mangue		
Gleissolos Háplicos		
Latossolos Amarelos	2	Solos estáveis e uniformes no conjunto de suas propriedades, e com boa permeabilidade.
Latossolos Vermelho-Amarelos		
Argissolos Amarelos	3	Solos com teor substancial de argila com atividade alta limitando sua drenagem natural.
Argissolos Vermelho - Amarelo		

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001); Pfaltzgraff (2007); GEGEP/UFPE (2014) e Menezes Júnior(2015)

Como o mapa de solo proveniente do ZAAL, Embrapa (2012), está estruturado em cinco associações de solos, houve a necessidade de fazer a ponderação para cada uma das associações de solo (Quadro 4), os valores decimais, foram arredondados para o valor inteiro mais próximo, procedimento necessário para o funcionamento das funções em meio a álgebra de mapas.

Quadro 4 - Ponderação do grau de suscetibilidade a escorregamentos para cada associação de solo

Associação de Solos	Grau de Suscetibilidade
Associação de: Gleissolo Háplico (1) + Argissolo Amarelo (3) + Argissolo Vermelho – Amarelo (3) + Latossolo Amarelo (2) + Latossolo Vermelho – Amarelo (2)	2
Associação de: Latossolo Amarelo (2) + Argissolo Amarelo (3) + Argissolo Vermelho – Amarelo (3)	3
Associação de: Neossolo Quartzarênico (1) + Neossolo Flúvico (1) + Latossolo Amarelo (2) + Latossolo Vermelho Amarelo (2)	2
Associação de: Solos Indiscriminados de Mangue (1) + Gleissolo Háplico (1)	1

Fonte: Organizado pelo autor (2018)

4.2.5 Formas do terreno

Para o mapa de Formas do terreno, em seus perfis vertical e horizontal, atribuiu-se grau de suscetibilidade 1, para as encostas do tipo Convexa/Planar, Retilínea/Planar e Retilínea/Divergente; as encostas do tipo Convexa/Convergente, Côncava/Divergente e Convexa/Divergente foram identificadas como grau 2, já para as encostas Côncava/Convergente, Retilínea/Convergente e Côncava/Planar, classificou-se com grau de suscetibilidade 3, conforme descrito no Quadro 5 (VALERIANO; CARVALHO JÚNIOR, 2003; GEGEP, 2014; TORRES 2014; MENEZES JÚNIOR 2015).

Quadro 5 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Formas do Terreno

Curvaturas Horizontais X Verticais do terreno	Grau de Suscetibilidade	Características
Convexa/Planar	1	Forma pouco expressiva com relação ao fluxo hídrico, onde o escoamento superficial é bem dispersado sem causar danos a encosta.
Retilínea/Planar		
Retilínea/Divergente		
Convexa/Convergente	2	Dispersão do fluxo hídrico ao longo da encosta.
Côncava/Divergente		
Convexa/Divergente		
Côncava/Convergente	3	Aumento do fluxo hídrico para uma determinada direção, resultando no desgaste excessivo do solo com o escoamento superficial concentrado.
Retilínea/Convergente		
Côncava/Planar		

Fonte: Valeriano; Carvalho Júnior, (2003); GEGEP/UFPE, (2014); Torres (2014); Menezes Júnior (2015).

4.2.6 Declividade

Para o mapa de Declividade que possui os níveis angulação entre (0° - $9,6^{\circ}$ / $9,7^{\circ}$ - $16,7^{\circ}$ / $16,8^{\circ}$ >) adotado por Listo e Vieira (2010) e Listo (2011) alinhado com a Lei Lehman (Lei Federal 6.766/79), atribuiu-se os seguintes graus de suscetibilidade (Quadro 6).

Quadro 6 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Declividade

Intervalos de Declividade	Feições Morfológicas	Grau de suscetibilidade
0° - 9,6°	Relevo plano a suave ondulado. Baixo índice de escorregamento.	1
9,7° - 16,7°	Relevo ondulado. Índice moderado de escorregamento.	2
16,8° >	Relevo forte ondulado onde pode ocorrer instabilização do material devido a saturação hídrica e inclinação da vertente.	3

Fonte: Adaptado de Listo; Vieira (2010); Cardozo e Herrmann (2011); Brito (2014); Torres (2014).

4.2.7 Uso e ocupação da terra

Para o uso e ocupação da terra, definiu-se seis classes, tendo como referência Almeida e Freitas (1996), na ponderação observou-se a realidade da área e o trabalho de Menezes Júnior (2015), conforme Quadro 7, a seguir.

Quadro 7 - Classificação do grau de suscetibilidade a escorregamentos: Uso e Ocupação da Terra

Classes	Grau de suscetibilidade	Características
Cobertura Vegetal Natural	1	Inclui áreas cobertas principalmente por mata e capoeira.
Campo Antrópico/ Pastagens	3	Áreas onde predominam vegetação herbácea, alguns arbustos e árvores esparsas e campos agricultáveis.
Solo exposto	3	Área desprovida de cobertura vegetal
Área Urbana consolidada	2	Caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infraestrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc.
Área Urbana em Consolidação	3	Constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução.
Área Urbana Parcelada	3	Corresponde à ocupação periférica, de densidade média/baixa, caracterizada por loteamentos em implantação, destinados à classe social menos favorecida, em que há falta de infraestrutura e equipamentos urbanos.

Fonte: Adaptado de Almeida e Freitas (1996); Pfaltzgraff (2007); Camarinha, Canavesi, Alvalá (2014).

4.2.8 Descrição da estruturação do método AHP

Depois de atribuídos os graus de suscetibilidade para cada classe dos cinco critérios adotados na pesquisa, os mapas foram transformados em raster no *software ArcGIS 10.3.1*, procedimento necessário para realizar a álgebra de mapas, culminando nos mapas de suscetibilidade a escorregamentos (natural e induzido). O procedimento é realizado através da ferramenta “*Map Algebra*” contida na caixa de ferramentas *Arctoolbox*, do *software ArcGIS*, via calculadora raster onde acontece a inserção dos pesos de cada um dos critérios.

Para se chegar ao peso específico dos critérios: Geologia, Geomorfologia, Solos, Formas do Terreno, Declividade, Uso e Ocupação da Terra, serão adotados diante do método AHP, as seguintes fases:

I - Fase de estruturação hierárquica: onde se faz a definição do objetivo global e decomposição do sistema em vários níveis de hierarquia. A hierarquia é composta dos eventos e suas respectivas relações, podendo a mesma ser simples ou composta. Segue nas figuras 23 e 24, as hierarquias para as situações estudadas.

Figura 23 - Hierarquização para aquisição do mapa de suscetibilidade natural à escorregamentos via método AHP



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 24 - Hierarquização para aquisição do mapa de suscetibilidade induzida à escorregamentos via método AHP



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

II – Fase de comparação par a par dos elementos em cada nível do sistema: a comparação por pares se constitui em um julgamento comparativo através da atribuição de pesos, onde se procura determinar a importância relativa de cada elemento de um nível hierárquico com relação a cada critério no nível imediatamente superior. Estes pesos são determinados por uma escala de julgamentos (Escala Fundamental de Saaty) a qual varia de 1 quando os critérios possuem mesma importância a 9 para importância absoluta de um critério sobre outro, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Escala Fundamental da AHP

Intensidade de Importância em uma escala absoluta	Definição	Explicação
1	Igual Importância	Duas atividades contribuem igualmente com o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
5	Essencial ou forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e seu domínio é demonstrado na prática
9	Extremamente importante	A evidência favorece uma atividade sobre a outra é da mais alta ordem possível de afirmação
2, 4, 6, 8	Valores intermediário entre dois julgamentos adjacentes	Quando o compromisso é necessário

Fonte: Adaptado de Saaty (1991)

Através de critérios pré-selecionados, utiliza uma matriz quadrada, a qual realiza uma análise aos pares, culminando em um peso para cada critério. Tomando por base os pesos da Escala Fundamental, forma-se a matriz de comparação paritária, conforme Quadro 8.

Quadro 8 - Matriz quadrada de correlação par a par

Critérios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
C₁	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{51}=1/C_{15}$
C₂	C_{12}	1	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{52}=1/C_{25}$
C₃	C_{13}	C_{23}	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{53}=1/C_{35}$
C₄	C_{14}	C_{24}	C_{34}	1	$C_{54}=1/C_{45}$
C₅	C_{15}	C_{25}	C_{35}	C_{45}	1

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

III – Fase de priorização dos elementos do sistema; após a comparação pareada através da matriz quadrada, parte-se para a normalização dos valores, onde o valor de importância determinado para cada par é dividido pelo somatório dos valores de cada coluna. Desta forma, para a aquisição do valor do peso (**w_i**) de cada critério, realiza-se a divisão do somatório de cada linha (**ΣL**) pelo número de critérios analisados, conforme exemplo no Quadro 9.

Quadro 9 - Matriz de Normalização dos critérios

Critérios	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	Wi (peso)
C₁	$1/\sum C_1$	$C_{21}/\sum C_2$	$C_{31}/\sum C_3$	$C_{41}/\sum C_4$	$C_{51}/\sum C_5$	$\sum L_1/5$
C₂	$C_{12}/\sum C_1$	$1/\sum C_2$	$C_{32}/\sum C_3$	$C_{42}/\sum C_4$	$C_{52}/\sum C_5$	$\sum L_2/5$
C₃	$C_{13}/\sum C_1$	$C_{23}/\sum C_2$	$1/\sum C_3$	$C_{43}/\sum C_4$	$C_{53}/\sum C_5$	$\sum L_3/5$
C₄	$C_{14}/\sum C_1$	$C_{24}/\sum C_2$	$C_{34}/\sum C_3$	$1/\sum C_4$	$C_{54}/\sum C_5$	$\sum L_4/5$
C₅	$C_{15}/\sum C_1$	$C_{25}/\sum C_2$	$C_{35}/\sum C_3$	$C_{45}/\sum C_4$	$1/\sum C_5$	$\sum L_5/5$

Fonte: Saaty (2008)

IV – Fase de verificação de consistência hierárquica; a matriz, segundo os preceitos de Saaty (1991), deve apresentar um grau de inconsistência ou margem de erro máxima de (0,10), caso ultrapasse esse limite haverá a necessidade de aprimoramentos com a operação real dos julgamentos. A soma dos pesos calculados deve ser igual a 1,0 (um).

Depois de fazer a comparação par a par deve-se ir em busca do valor de consistência, para avaliar a consistência do resultado obtido, o cálculo da Razão de Consistência (RC), permite avaliar a inconsistência em função da ordem da matriz de julgamentos, através da equação 1.

$$RC = IC / IR \text{ (Índice de Consistência) / (Índice Randômico)} \quad \text{(Equação 1)}$$

O Cálculo do Índice de Consistência (IC), avalia o grau de inconsistência da matriz de julgamentos paritários, conforme a equação 2:

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), \text{ onde o } \lambda_{max} = 1/n \sum_{i=1}^n [Aw] / w_i \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

n = número de ordem da matriz

λ_{\max} = autovetor

W_i = pesos calculados

Aw = Produto entre W_i com a matriz de correlação pareada

A tolerabilidade da inconsistência desta matriz é determinada do “Índice Randômico” que é fornecido por uma tabela de valores (Tabela 6) e é função da dimensão da matriz de comparação. O IR é obtido para uma matriz randômica recíproca, com elementos não-negativos; vários tamanhos de matriz N foram aproximados por Saaty, tomando-se por base um grande número de simulações em laboratório.

Tabela 6 - Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Fonte: Saaty, 2008

De posse IC e do IR, adquire-se o valor de RC. A RC mede a coerência e a consistência das relações de importância consideradas na análise, caso ela seja superior a 0,10, o julgamento dos condicionantes deve ser refeito, por apresentar incoerências. Quanto mais próxima de "0" for a razão de consistência, mais coerente será o modelo. Para valores de $RC > 0,10$ pede-se uma revisão na matriz de comparações. (Carvalho, Riedel, 2005; Saaty 1991, 2008; Torres, 2014).

4.2.9 Estruturação do Método AHP para área estudada

Não existe um fator único que possa ser utilizado para caracterizar com precisão a suscetibilidade a escorregamentos, uma série de variáveis deve ser analisada de forma interativa (GUZZETTI, 2006; BRITO, 2014). Neste estudo, para a modelagem da suscetibilidade natural foram utilizados os seguintes critérios: **Geomorfologia, Geologia, Solos, Formas do terreno e Declividade**, totalizando cinco critérios. Já para a modelagem da suscetibilidade induzida foi acrescido aos critérios da suscetibilidade natural o **Uso e Ocupação da Terra**, num total de seis critérios.

Para determinar a importância relativa de cada elemento de um nível hierárquico com relação a cada critério foram realizadas duas comparações pareadas, uma com os critérios da suscetibilidade natural (quadro 10) e outra com os critérios da suscetibilidade induzida, (quadro 11) obedecendo ao que foi descrito no item 4.2.2.

Quadro 10 - Matriz quadrada de correlação par a par (Suscetibilidade Natural)

Crítérios	Geomorfológico	Geológico	Solos	Declividade	Forma do terreno
Geomorfológico	1	1,00	1,00	1,00	1,00
Geológico	1	1	1	0,25	1,00
Solos	1	1	1	0,25	0,50
Declividade	1	4	4	1	1
Forma do terreno	1	1	2	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Quadro 11 - Matriz quadrada de correlação par a par (Suscetibilidade Induzida)

Crítérios	Uso	Geológico	Solos	Declividade	Forma do terreno	Geomorfológico
Uso	1	0,50	1,00	0,33	1,00	1
Geológico	2	1	1	0,33	0,50	1
Solos	1	2	1	0,25	0,33	1
Declividade	3	3	4	1	2	1
Forma do terreno	1	2	3	1	1	1
Geomorfológico	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os valores determinados nos dois quadros (10 e 11) estão de acordo com a escala de julgamentos (Escala Fundamental de Saaty) a qual varia de 1 quando os critérios possuem mesma importância a 9 para importância absoluta de um critério sobre outro. Nos quadros 12 e 13, de acordo com o que está explícito no item 4.2.2, apresenta-se esses valores normalizados e os pesos atribuídos aos critérios condicionantes da suscetibilidade. Logo em seguida, justifica-se o porquê dos pesos atribuídos a cada critério.

Quadro 12 - Matriz de Normalização dos critérios (Susceptibilidade Natural)

Crítérios	Geomorfológico	Geológico	Solos	Declividade	Forma do terreno	Wi (peso)
Geomorfológico	0,20	0,13	0,11	0,29	0,29	0,19
Geológico	0,20	0,13	0,11	0,07	0,07	0,15
Solos	0,20	0,13	0,11	0,07	0,07	0,12
Declividade	0,20	0,50	0,44	0,29	0,29	0,33
Forma do terreno	0,20	0,13	0,22	0,29	0,29	0,21

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Quadro 13 - Matriz de Normalização dos critérios (Suscetibilidade Induzida)

Critérios	Uso	Geológico	Solos	Declividade	Forma do terreno	Geomorfológico	Wi (peso)
Uso	0,11	0,05	0,10	0,09	0,17	0,17	0,11
Geológico	0,22	0,11	0,05	0,09	0,09	0,17	0,12
Solos	0,11	0,21	0,10	0,06	0,06	0,17	0,12
Declividade	0,33	0,32	0,38	0,26	0,34	0,17	0,30
Forma do terreno	0,11	0,21	0,29	0,26	0,17	0,17	0,20
Geomorfológico	0,11	0,11	0,10	0,26	0,17	0,17	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Para o cenário da suscetibilidade natural (quadros 10 e 12) o fator condicionante com maior importância para a predisposição do terreno à ocorrência de escorregamentos foi a declividade, com um peso de 0,33, o que significa que esse fator tem 33% de influência sobre o valor final de suscetibilidade. Esse elevado peso é coerente com outros estudos, onde a declividade é considerada como o fator mais importante para mapear a suscetibilidade a escorregamentos condizentes com pesos adotados por Crepani *et al.*, 2001; Van Westen; Castellanos e Kuriakose, (2008); Cardozo e Herrmann (2011); Reis *et al.*, (2012); Silva Junior, Silva e Pereira (2013); Brito (2014); Torres (2014); Menezes Júnior, (2015).

O segundo critério condicionante de escorregamentos com maior importância foi a forma do terreno, com um peso de 0,21, o que significa que esse fator tem 21% de influência sobre o valor final de suscetibilidade. O peso adotado está de acordo com outros estudos, em que a forma do terreno assume importância considerável enquanto condicionantes e suscetibilidade a escorregamentos, relação vista em Valeriano e Carvalho Júnior, (2003); Cardozo e Herrmann (2011); Silva Junior, Silva e Pereira (2013); Torres (2014); Menezes Júnior, (2015).

Somando a importância dos critérios declividade e forma do terreno, o fator geomorfológico recebeu peso 0,19, ou seja, tem 19% de influência perante os processos de escorregamentos na área estudada. Esse valor é condizente com pesquisas realizadas por Cardozo e Herrmann (2011). Foram considerados com base em Crepani *et al.* (2001), julgando-se as influências da dissecação do relevo, a amplitude altimétrica assim como a declividade.

Quanto ao critério geológico, este recebeu peso de 0,15 ou seja, possui 15% de influência na suscetibilidade a escorregamentos. Justifica-se pelo fato dos escorregamentos serem fortemente controlados pelas unidades geológicas (principalmente Formação Barreiras,

na área estudada) já que estas possuem diferentes estruturas, mineralogias, graus de intemperismo, e, portanto, suscetibilidades distintas conforme observado em Crepani *et al.*, (2001); Reis *et al.*, (2012); Brito (2014); Torres, (2014); Menezes Júnior (2015).

Já o fator solo, recebeu peso 0,12, ou seja, esse fator tem 12% de influência sobre o valor final de suscetibilidade. Esse peso levou em conta o grau de maturidade dos solos da área em estudo, pensando-se na relação morfogênese/pedogênese, suas condições de estabilidade (CREPANI *et al.*, 2001; RODRIGUES, CALHEIROS, MELO, 2007; TORRES, 2014; MENEZES JÚNIOR, 2015).

No cenário de suscetibilidade induzida (Quadros 11 e 13) os julgamentos adotados foram semelhantes ao do cenário da suscetibilidade natural, com exceção da variável uso e ocupação da terra que foi incorporada na análise visando-se avaliar a suscetibilidade induzida.

Assim como no cenário da suscetibilidade natural, o fator com o maior peso foi a declividade (0,30), seguido pela forma do terreno (0,20); geomorfologia (0,15); geologia (0,12); e solos (0,12) e uso e ocupação da terra (0,11).

O critério uso e ocupação da terra recebeu um peso relativamente alto, visto que na área estudada as ações antrópicas vêm alterando de forma significativa a suscetibilidade natural do terreno. O peso adotado para esse critério aproxima-se dos utilizados por Reis *et al.* (2012); Brito (2014); Camarinha, Canavesi, Alvalá (2014).

A razão de consistência obtida para o cenário da suscetibilidade natural foi de 0,07; para suscetibilidade induzida, obteve-se 0,09 de razão de consistência. Isso indica que os julgamentos apresentaram consistência aceitável para as duas situações, ou seja, foi menor que 0,10 (Saaty 1991, 2008). Desta forma, os pesos são considerados apropriados e podem ser utilizados na modelagem da suscetibilidade a escorregamentos. (As tabelas com todos os cálculos encontram-se detalhados nos apêndices deste trabalho).

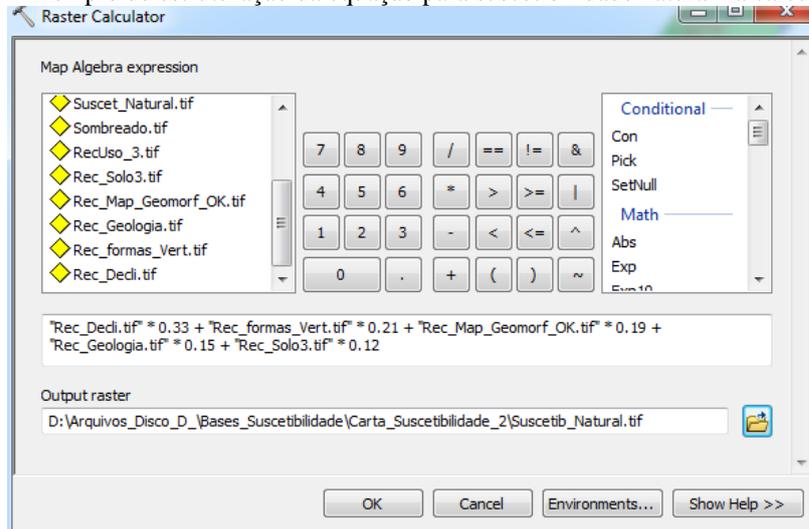
Diante da verificação da consistência as cartas de suscetibilidade (natural e induzida) foram geradas no ArcGis 10.3.1, inicialmente preparou-se todos os mapas dos critérios em raster, reclassificando-os para três níveis de suscetibilidade, depois utilizando a ferramenta raster calculator do ArcGis, aplicou-se as seguintes álgebras (Equações 3 e 4).

Para a carta de suscetibilidade natural

$$\boxed{(Declividade*0,33) + (Formas do Terreno*0,21) + (Geomorfológico*0,19) + (Geológico*0,15) + (Solos*0,12)} \quad \text{(Equação 3)}$$

Observa-se na Figura 25, o exemplo de aplicação da álgebra para a suscetibilidade natural no raster calculator do ArcGIS.

Figura 25 - Exemplo de estruturação da equação para suscetibilidade natural na calculadora raster



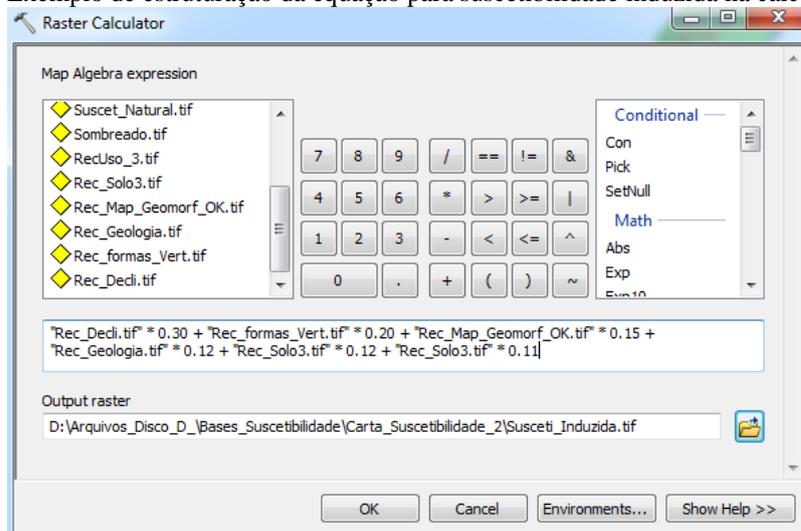
Fonte: autor (2018)

Para a carta de suscetibilidade induzida

$$(Declividade*0,30) + (Formas\ do\ Terreno*0,20) + (Geomorfol\u00f3gico*0,15) + (Geol\u00f3gico*0,12) + (Solos*0,12) + (Uso*0,11) \quad (\text{Equa\u00e7\u00e3o 4})$$

Observa-se na figura 26, o exemplo de aplica\u00e7\u00e3o da \u00e1lgebra para a suscetibilidade induzida no raster calculator do ArcGIS.

Figura 26 - Exemplo de estrutura\u00e7\u00e3o da equa\u00e7\u00e3o para suscetibilidade induzida na calculadora raster



Fonte: autor (2018)

Para todos os mapas que compuseram as cartas de suscetibilidade assim como as próprias, foi calculado o índice Frequência das Classes (FC), através da equação 5, que indica em porcentagem o valor de cada classe nos mapeamentos. Esse cálculo é realizado de acordo com a quantidade de *pixels* presentes em cada intervalo de classe dos mapas (Figura 27).

$$FC = \text{Área da classe (pixels)} / \text{Área Total (pixels)} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Figura 27 - Exemplo da quantidade de pixels presentes no mapa de suscetibilidade natural (a coluna count contém a quantidade de pixel presente em cada classe do mapa)

OID	Value	Count	Clas susce
0	1	87432	BAIXA
1	2	210521	MÉDIA
2	3	33564	ALTA

Fonte: autor (2018)

4.3 Validação dos mapeamentos de suscetibilidade/mapeamento das Cicatrizes de Escorregamentos

Para a validação dos mapeamentos de suscetibilidade realizou-se um mapeamento das ocorrências de cicatrizes de escorregamentos na área em estudo. O mapa de escorregamentos teve como objetivo analisar a distribuição dos eventos, assim como sua tipologia, tamanho, forma e estado de atividade (LISTO, 2011). Na delimitação das cicatrizes de escorregamento considerou-se somente a porção de ruptura da cicatriz, desconsiderando suas áreas de arraste e de depósito, conforme proposto por Martins; Oka-Fiori; Vieira (2015), observando-se as diferenças de textura de solo e aspectos alongados.

A delimitação das cicatrizes de escorregamentos foi realizada com apoio do *software* ArcGIS, a partir da interpretação de imagens de satélite disponibilizadas pelo *Google Earth Pro*. As cicatrizes de escorregamentos foram vetorizadas como polígonos com a extensão .kml dentro do próprio *Google Earth Pro*; após esta etapa, os polígonos foram convertidos em

shapefiles (.shp) por meio da ferramenta *KML to Layer* (módulo *conversion tools* do ArcGIS 10.3.1) para que as cicatrizes de escorregamentos fossem trabalhadas no ambiente SIG dentro do ArcGIS. Posteriormente foi realizado trabalho de campo na área de estudo, para checar as cicatrizes mapeadas.

As cicatrizes de escorregamentos (polígonos) foram superpostas às cartas de suscetibilidade (natural e induzida) para correlacionar o grau de suscetibilidade que coincidiu com cada cicatriz de escorregamento mapeada (Concentração de Cicatrizes de Escorregamentos – CCE), ou seja, a quantidade de *pixels* inserida dentro das cicatrizes de escorregamentos. Para isto, utilizou-se a equação 6.

$$\text{CCE} = \frac{\text{Área Atingida em cada classe}}{\text{Área Atingida Total}} * 100$$

(Equação 6)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são expostos os resultados e discussão desta pesquisa. No subcapítulo 5.1, são avaliados os fatores condicionantes da suscetibilidade a escorregamentos (natural e induzida) no litoral norte de Maceió. No subcapítulo 5.2, são analisados dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos (natural e induzida) para o litoral norte de Maceió, diante da perspectiva do planejamento urbano. O subcapítulo 5.3, apresenta a validação dos mapeamentos de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos.

5.1 Avaliação dos fatores condicionantes da suscetibilidade (natural e induzida) à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió

De acordo com Van Westen; Castellanos e Kuriakose (2008), a seleção dos fatores condicionantes para a elaboração dos mapas de suscetibilidade a escorregamentos depende das características do terreno, da disponibilidade de dados e informações existentes, dos custos envolvidos na análise e da escala que está sendo utilizada. Com base nisso, para a modelagem das suscetibilidades natural e induzida, desta pesquisa, foram utilizados os seguintes critérios: **Declividade, Formas do Terreno, Geomorfologia, Geologia, Solos, Uso e Ocupação da Terra**. Será avaliado adiante, a influência de cada um enquanto condicionantes dos processos de escorregamentos no litoral norte de Maceió.

5.1.1 Declividade

Para o mapa de declividade (Figura 28), os valores foram expressos em graus, onde definiu-se três intervalos de declividade 0° - $9,6^{\circ}$; $9,7^{\circ}$ - $16,7^{\circ}$ e $16,8^{\circ}$ > assim como proposto por Listo e Vieira (2012). Considera-se que os menores valores, naturalmente correspondem aos locais mais planos, enquanto os maiores às regiões mais íngremes do terreno.

De acordo com a divisão das classes de declividade (Figura 29), a classe de 0° - $9,6^{\circ}$, apresentou 65% da área total, correspondendo principalmente ao setor planar do litoral norte de Maceió; a classe entre $9,61^{\circ}$ - $16,7^{\circ}$, apresentou 25%; já a classe representada por $16,8^{\circ}$ > é condizente com a área detentora de um relevo mais declivoso, correspondendo a 10% do total. Apesar da expressividade ser menor em relação às demais classes, observa-se no mapa que as declividades a partir de $16,8^{\circ}$ estão espacialmente bem distribuídas ao longo de toda a região estudada.

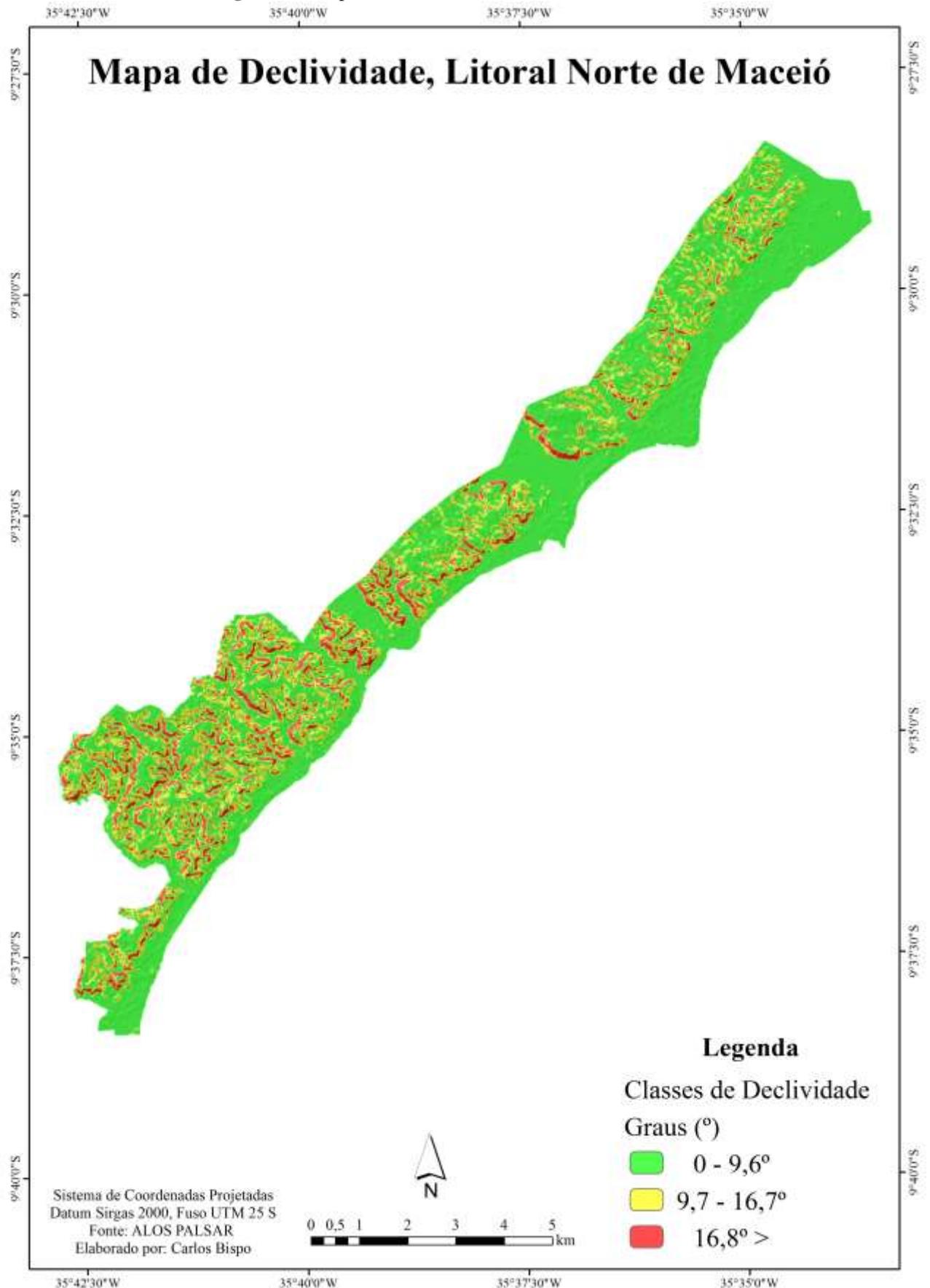
Pelo conhecimento que se tem da área, o mapa de declividade denota que os locais que possuem declividade igual ou superior a $16,8^{\circ}$, referem-se as regiões que se concentram as encostas, em sua maior parte. Essas áreas de relevo mais declivoso, apesar de não ser o único fator condicionante de escorregamentos, favorecem de forma significativa a ocorrência desses

processos, principalmente pelo aumento da velocidade do escoamento superficial da água e do poder erosivo na movimentação de materiais superficiais, podendo aumentar a suscetibilidade da área, assim como já constatado nos estudos de Selby 1993; Crepani *et al.* (2001); Listo (2011); Listo e Vieira (2012) e CPRM/IPT (2014). Porém cabe destacar que embora mais comuns em áreas montanhosas, os escorregamentos podem também ocorrer em qualquer local, desde que haja um relevo local, capaz de gerar força gravitacional que possa transportar rocha e/ou solo (GUERRA *et al.*, 2017).

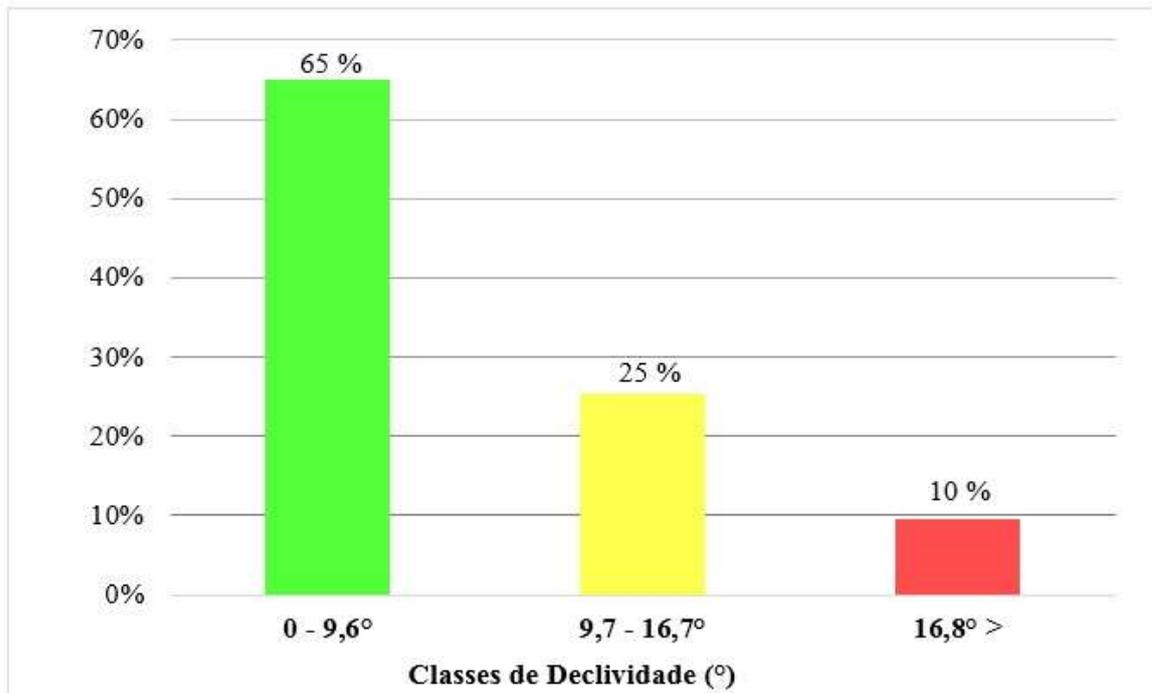
Nestas condições, em conformidade com a Lei Federal nº 6.766 /1979 (Lei Lehmann), considera-se em situação de risco assentamentos em sítios de declividade superior a 16,8°. Assim como o Código Florestal (Lei n. 12651/2012), que restringe o uso dos espaços de faixas marginais de curso d'água, encostas e topo de morro. Já no âmbito da legislação municipal de Maceió, Lei 5.593/07 (Código de Urbanismo e Edificações), encostas que apresentam declividades altas como 16,8°, são consideradas como Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico (ZIAPs) devendo ser preservadas em função do seu papel modelador da paisagem e mantenedor do equilíbrio ecológico.

Mesmo diante de todo o aparato das leis relativas a proteção do meio ambiente, o aspecto legal não é suficiente para impedir a ocupação dessas áreas, como foi constatado na área estudada ocupações irregulares sob encostas declivosas (Figura 30).

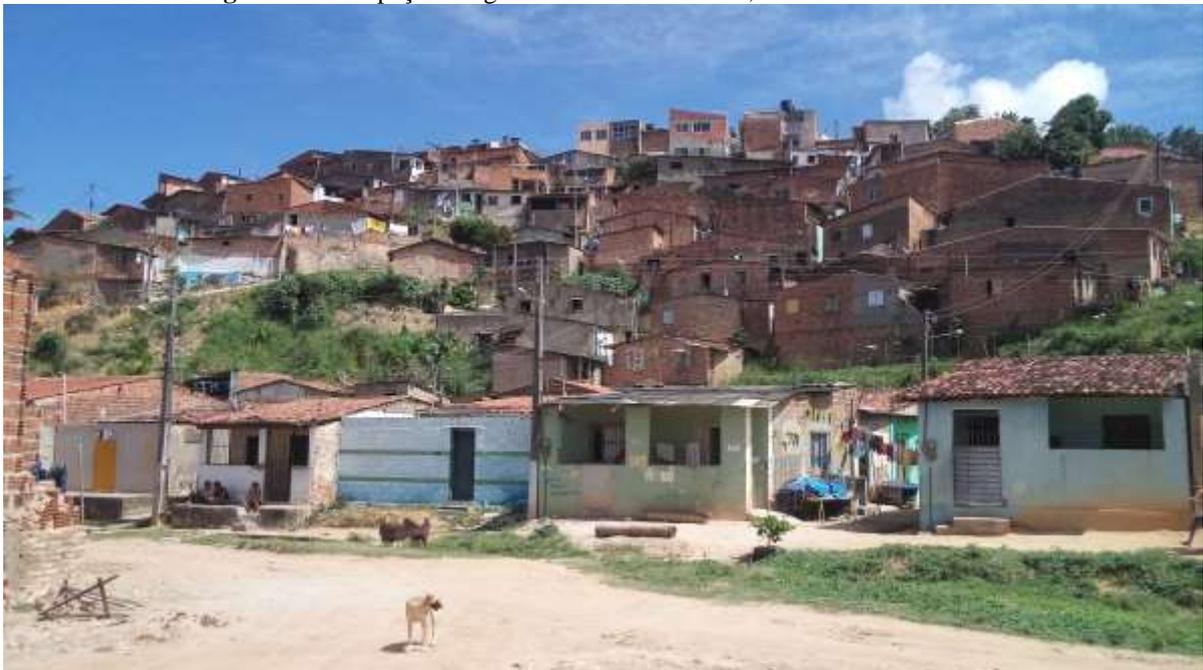
Figura 28 - Mapa de Declividade, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 29 - Frequência das classes de declividade, litoral norte de Maceió

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 30 - Ocupação irregular em área de encosta, litoral norte de Maceió

Fonte: autor (2017)

5.1.2 Forma do terreno

Com o objetivo de estabelecer correlações entre os escorregamentos e as diversas formas do relevo, foi elaborado o mapa das formas do terreno. Seguindo a proposta metodológica de Valeriano e Carvalho Júnior (2003), foram considerados os seguintes conjuntos de formas: retilínea/planar; convexo/planar; côncavo/planar; côncavo/divergente; convexo/divergente; retilínea/divergente; retilínea/convergente; convexo/divergente e convexo/convergente.

Na análise das Formas do terreno, conforme a Figura 31, as formas retilínea/planar apresentaram a maior frequência (31%), seguidas pelas formas convexo/planar (19%); côncavo/planar (16%); côncavo/divergente (12%); convexo/divergente (12%); retilínea/divergente (4%); retilínea/convergente (4%); convexo/divergente (1%) e convexo/convergente (1%); a variação apresentada pode ser vista no gráfico de frequência das classes exposto na Figura 32.

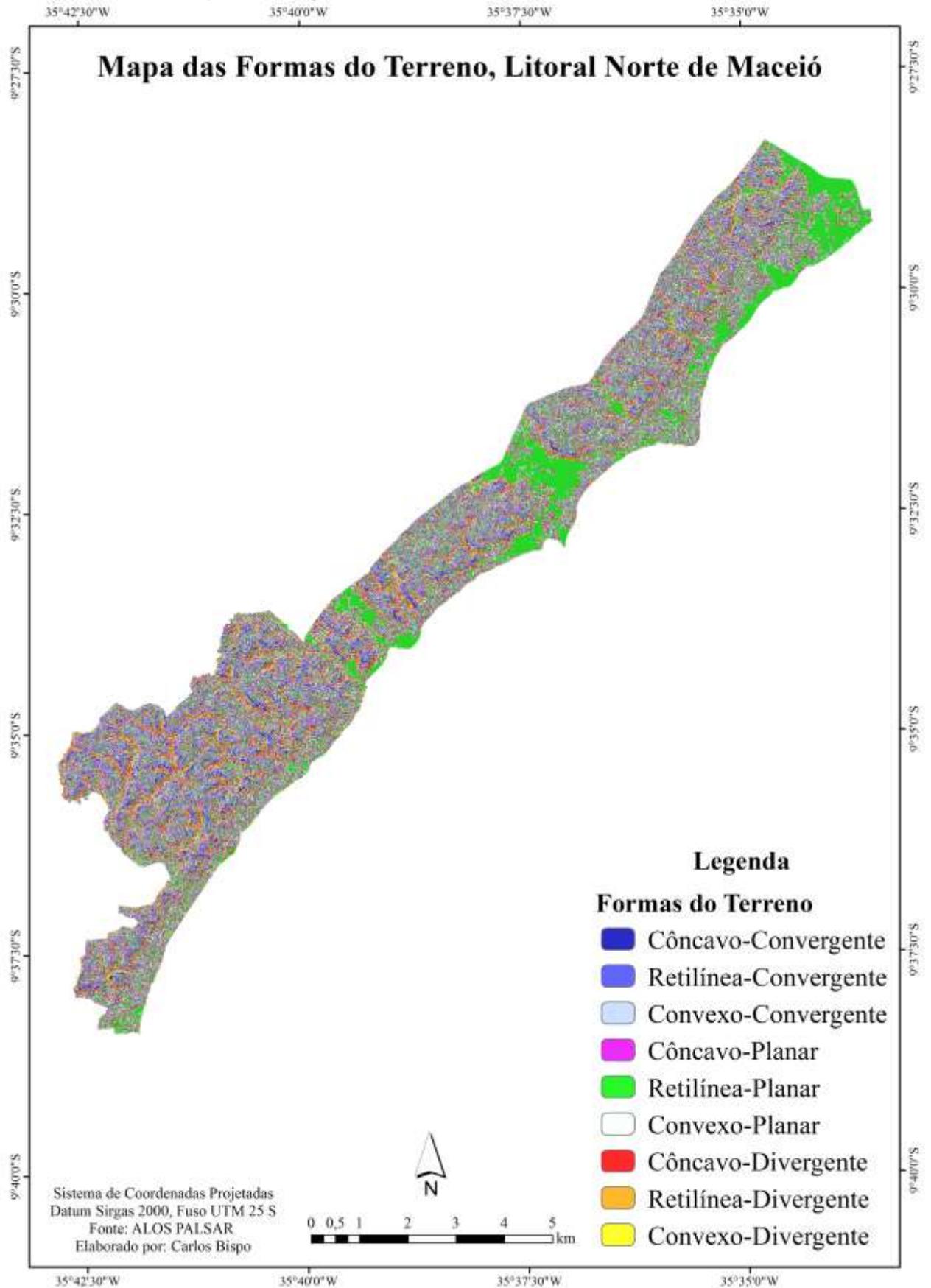
De acordo com a literatura geomorfológica Selby (1993); Valeriano e Carvalho Júnior, (2003); Florenzano (2008); Guerra (2011); Torres (2014) sobre a influência das formas do terreno na deflagração de processos de escorregamentos, julga-se que:

As formas retilínea/planar; retilínea/divergente e convexo/planar possuem características pouco expressiva com relação ao fluxo hídrico, onde o escoamento superficial é bem dispersado sem causar muitos danos à encosta, quanto ao escorregamento, porém, Selby (1993) considera, ainda, que as encostas retilíneas potencializam processos erosivos de grande monta. No Litoral Norte de Maceió esses três conjuntos de formas apresentaram frequência total de 54%.

O segundo grupo, com formas convexa/convergente; côncava/divergente e convexa/divergente possuem maior capacidade de dispersão do fluxo hídrico ao longo da encosta, o que possibilita maior impacto, apresenta uma frequência total de 25% na área estuda.

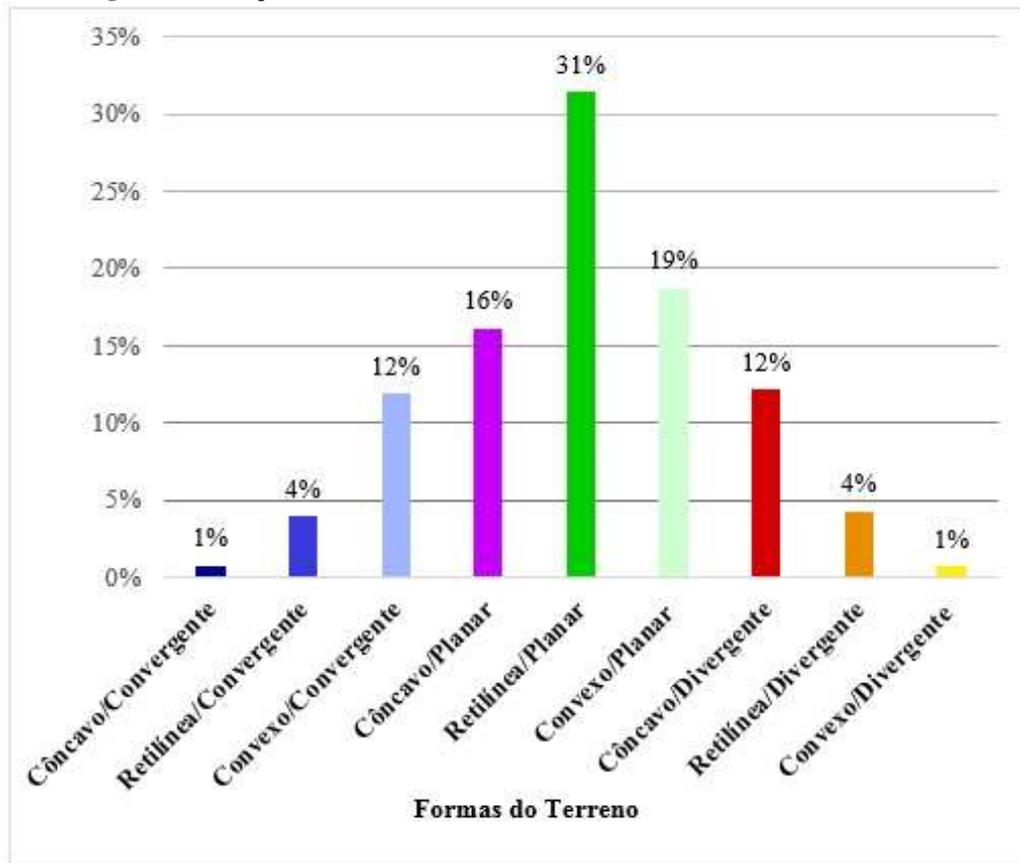
O terceiro e último grupo de formas côncava/convergente; retilínea/convergente; côncava/planar, possuem como principais características a capacidade de aumentar o fluxo hídrico para uma determinada direção, resultando no desgaste excessivo do solo com o escoamento superficial concentrado, ou seja, representa o grupo mais agressivo quanto ao favorecimento de escorregamentos. Este grupo corresponde a uma frequência total de 25% na área. Quando correlacionado com a declividade, nota-se uma alta preponderância sobre as encostas mais abruptas, ou seja, atua como condicionante importante na suscetibilidade a processos de escorregamentos (Figura 33).

Figura 31 - Mapa das Formas do Terreno, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 32 - Frequência das classes da Forma do Terreno, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 33 - Ocupações precárias em um setor de formas côncavas, litoral norte de Maceió



Fonte: autor (2018)

5.1.3 Geomorfologia

A morfologia do relevo é um fator importante para definir a suscetibilidade que um local possa ter quanto a ocorrência de processos superficiais da paisagem, como por exemplo, escorregamentos. Costa e Ramos (2004) definiu três compartimentos morfogenéticos principais para todo o município de Maceió: os Tabuleiros, as Planícies Flúvio-Lagunares e a Planície Marinha.

No mapeamento geomorfológico para área de estudo, realizado numa escala de 1:100.000, individualizou-se cinco conjuntos de formas: tabuleiros dissecados de forma planar; tabuleiros dissecados de forma convexa; encostas; planície fluvial e planície flúvio-marinha, essa espacialização pode ser vista na Figura 34.

Essas formas estão distribuídas ao longo de toda a área estuda, sendo as encostas a mais expressiva, correspondendo a uma frequência de 44%, seguida pela planície flúvio – marinha (23%); tabuleiros dissecados de topo plano (17%); planície fluvial (14%) e por último os tabuleiros dissecados convexos (2%); essa distribuição pode ser vista na Figura 35.

A planície flúvio-marinha com altitudes entre 1 e 5 metros, constitui-se num ambiente complexo, que sofre influência das oscilações das marés e dos processos continentais. É formada pela deposição de sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica em suas áreas de inundação, e vegetação de mangue. As planícies fluviais com altitudes entre 5 e 10 metros, são áreas constituídas de sedimentos aluviais em formas planas e baixadas inundáveis, possuem reservas hídricas superficiais revestidos por matas ciliares. Ambas as planícies se constituem como modelados de acumulação, constituídas por sedimentos quaternários, como já fora constatado por Costa (2004), ambas as planícies devido às características apresentadas possuem baixa potencialidade para influenciar na suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió.

Quanto as formas dos Tabuleiros (planar e convexo) suas altitudes variam de 40 a 79 metros, constituídos por sedimentos do Terciário, depósitos da Formação Barreiras. Os declives nestes tabuleiros mostram-se acentuados e vertendo para a linha da costa ou planície costeira (MACEIÓ, 2007). O desnível entre os tabuleiros e as planícies resultam nas encostas.

Os tabuleiros são condicionantes importantes quanto a suas capacidades de influenciar na suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos, juntamente com as encostas que são ainda mais ativas enquanto fator condicionante da suscetibilidade.

Para mostrar a diferenciação entre as formas dos Tabuleiros Planar e Convexa, foram traçados três perfis topográficos do mapeamento geomorfológico com base nas informações do Modelo Digital do Terreno (MDT). Os perfis forneceram uma imagem precisa da

topografia geral da área de estudo (Figura 36) e a diferenciação dos tabuleiros dissecados de forma plana e tabuleiros dissecados convexos (Figura 37 e 38), a orientação dos transectos podem ser vistas na figura 39.

Os tabuleiros de topo plano estão mais concentrados na porção sudeste da área estudada, enquanto os de forma convexas mais ao nordeste do litoral norte de Maceió. Isso demonstra que a morfogêneses tem atuado de maneira significativa na parte nordeste da área de estudo.

Figura 34 - Mapa das Unidades Geomorfológicas do litoral norte de Maceió

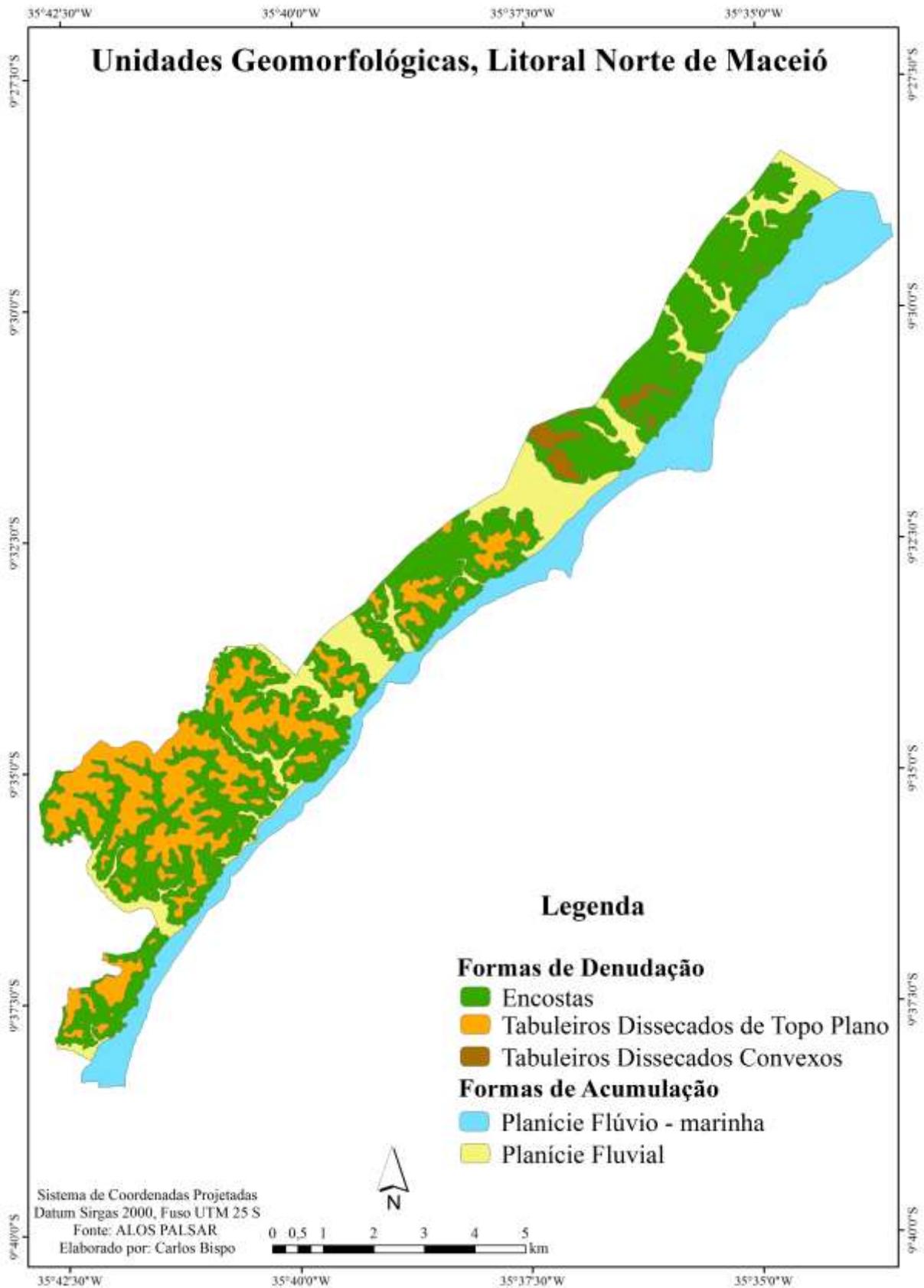
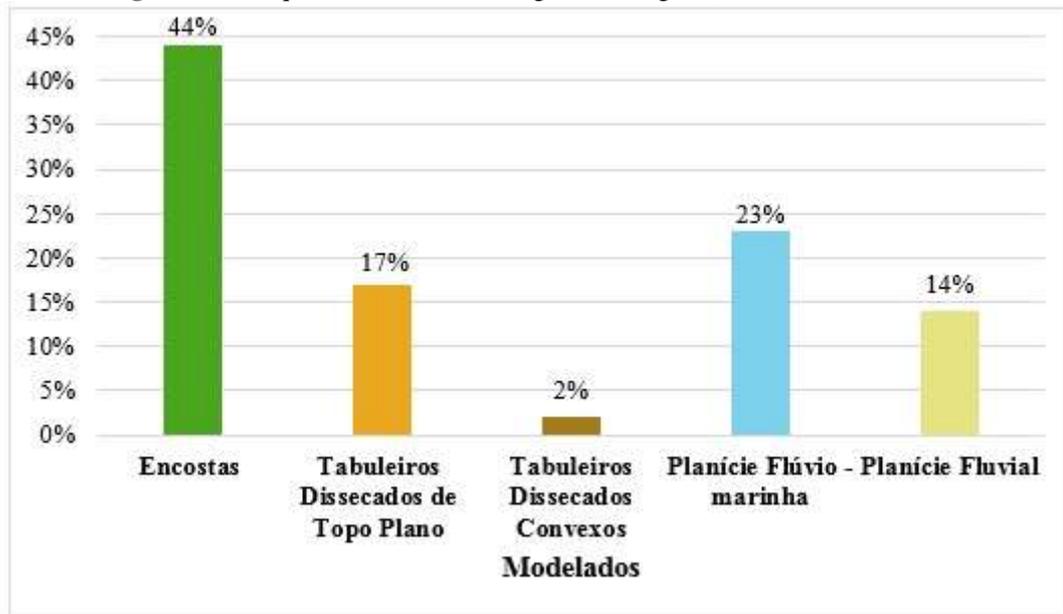
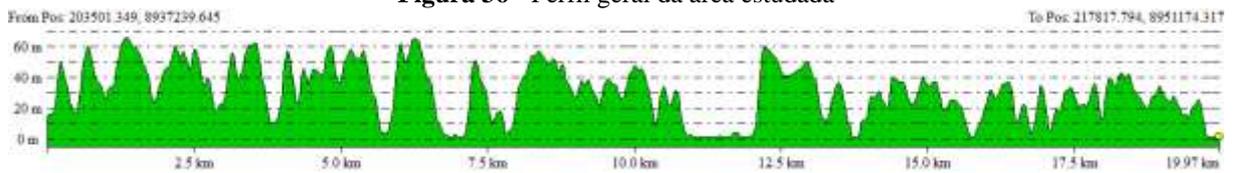
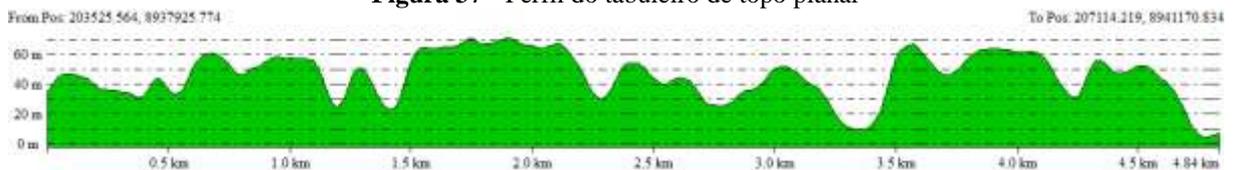


Figura 35 - Frequência dos modelados geomorfológicos, litoral norte de Maceió

Elaborado pelo autor (2018)

Figura 36 - Perfil geral da área estudada

Elaborado pelo autor (2018)

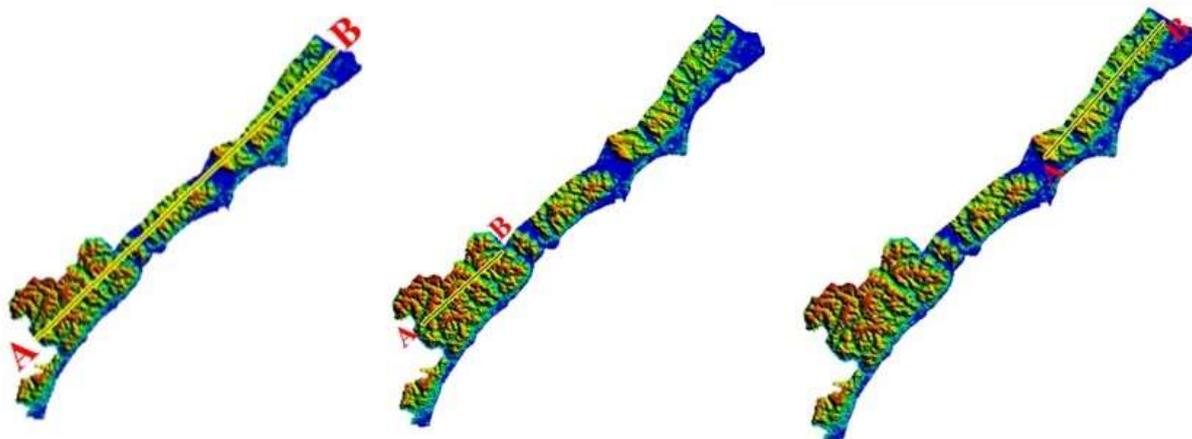
Figura 37 - Perfil do tabuleiro de topo planar

Elaborado pelo autor (2018)

Figura 38 - Perfil do tabuleiro de forma convexa

Elaborado pelo autor (2018)

Figura 39 - Transectos dos perfis, relativos as figuras 34, 35 e 36, (da esquerda para direita respectivamente)



Elaborado pelo autor (2018)

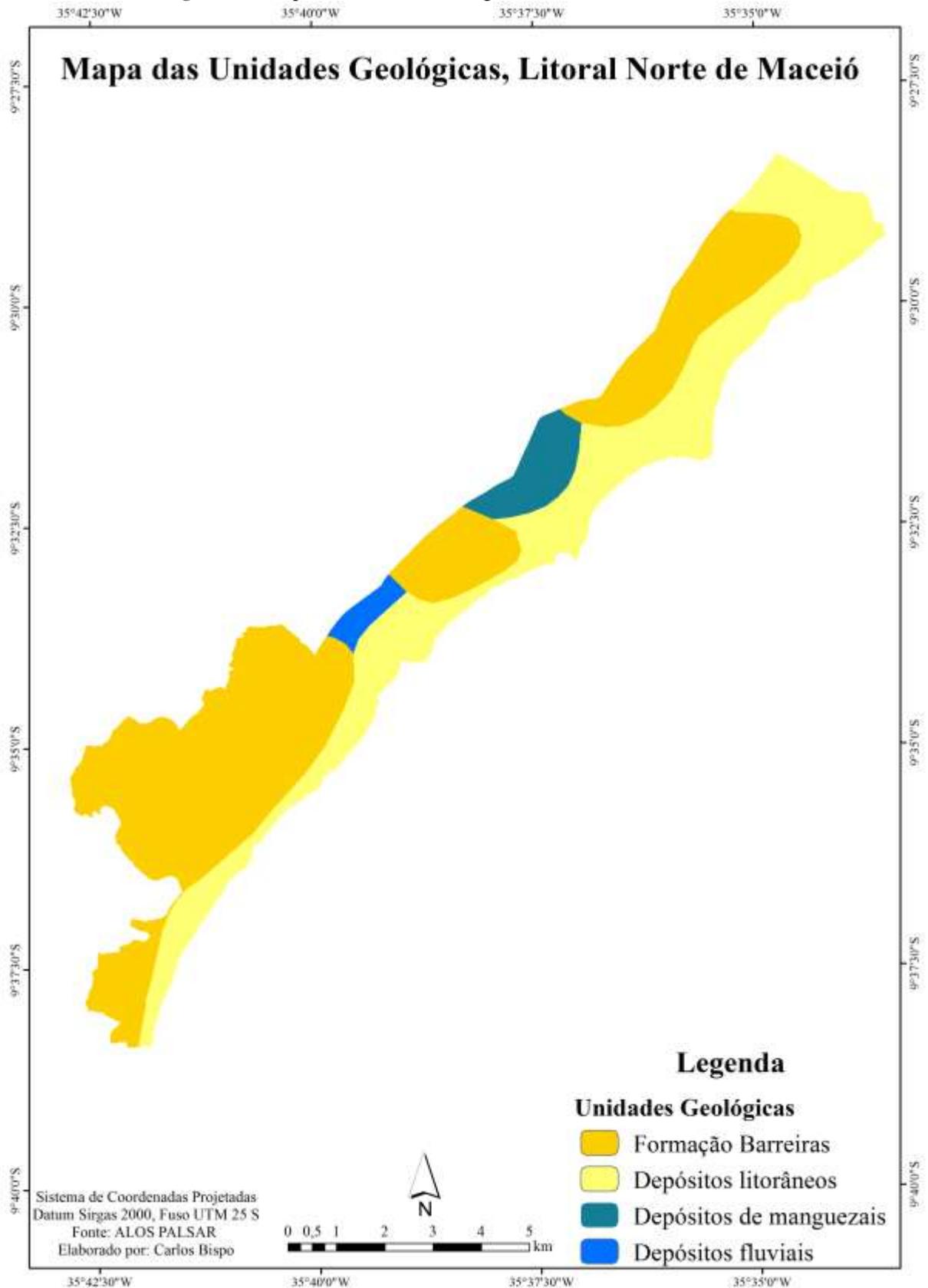
5.1.4 Geologia

A geologia também é um dos fatores importantes no estudo de escorregamentos. Neste caso, foram consideradas quatro unidades geológicas presentes no litoral norte de Maceió: Formação Barreiras, Depósitos Litorâneos, Depósitos Fluviais e Depósitos de Manguezais. Na Figura 40 vê-se a espacialização dessas unidades enquanto que na Figura 41 tem-se a frequência de distribuição de cada uma das classes na área total. A Formação Barreiras é a classe que apresenta a maior frequência (56 %); seguido pelos Depósitos Litorâneos (37%); Depósitos de Manguezais (5 %) e Depósitos Fluviais (2%).

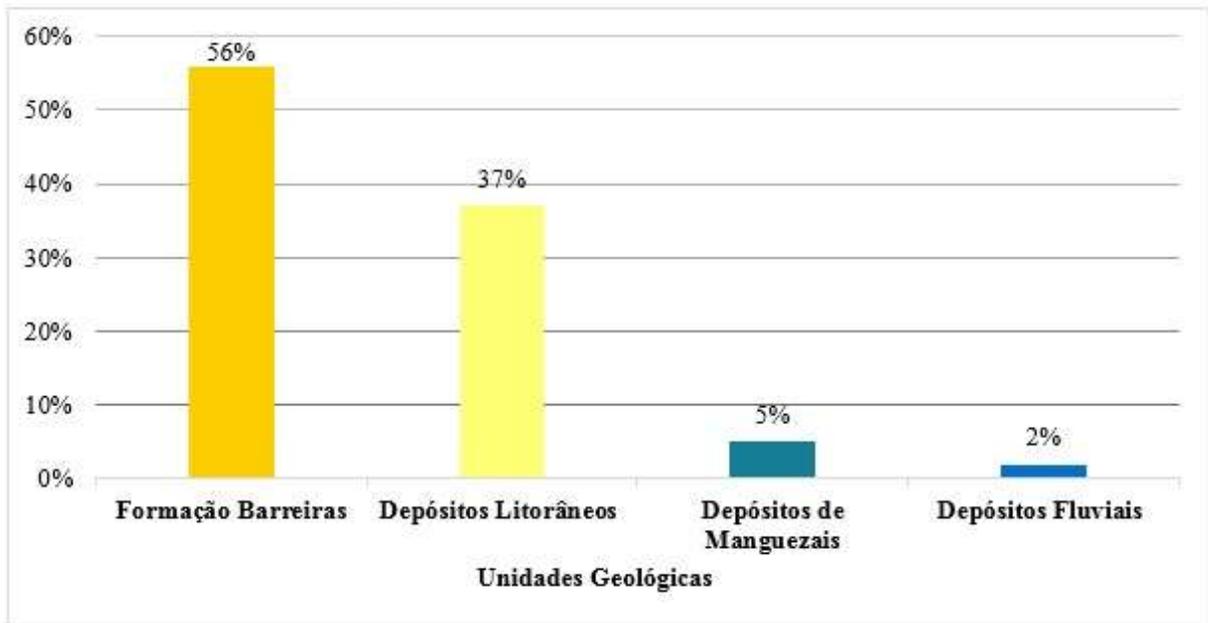
Litologicamente, a Formação Barreiras, classe mais predominante na área de estudo, é essencialmente composta por sedimentos pouco ou mal consolidados, depósitos de areias grossas, intercaladas por estratos rítmicos de areia fina e/ou argila, que por suas próprias características granulométricas e mineralógicas são bastante friáveis (Figura 42). A umidade e o teor em silte variam ao longo dos perfis desta formação, apresentando suscetibilidade à processos superficiais da paisagem como escorregamentos (MACEIÓ, 2007; PFALTZGRAFF, 2007).

As demais classes, Depósitos Litorâneos, Depósitos Fluviais e Depósitos de Manguezais, apresentam essencialmente solos areno-argilosos e fluviais, porém em áreas menos expostas a escorregamentos que a composições da Formação Barreiras, ou seja, com um grau de suscetibilidade menor, conforme destacado por Rodrigues, Calheiros e Melo (2013).

Figura 40 - Mapa das Unidades Geológicas, litoral norte de Maceió - AL



Fonte: CPRM, organizado pelo autor (2018)

Figura 41 - Frequência das Unidades Geológicas, litoral norte de Maceió

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 42 - Cortes nos sedimentos da Formação Barreiras, mostrando diferentes texturas

Fonte: autor (2017)

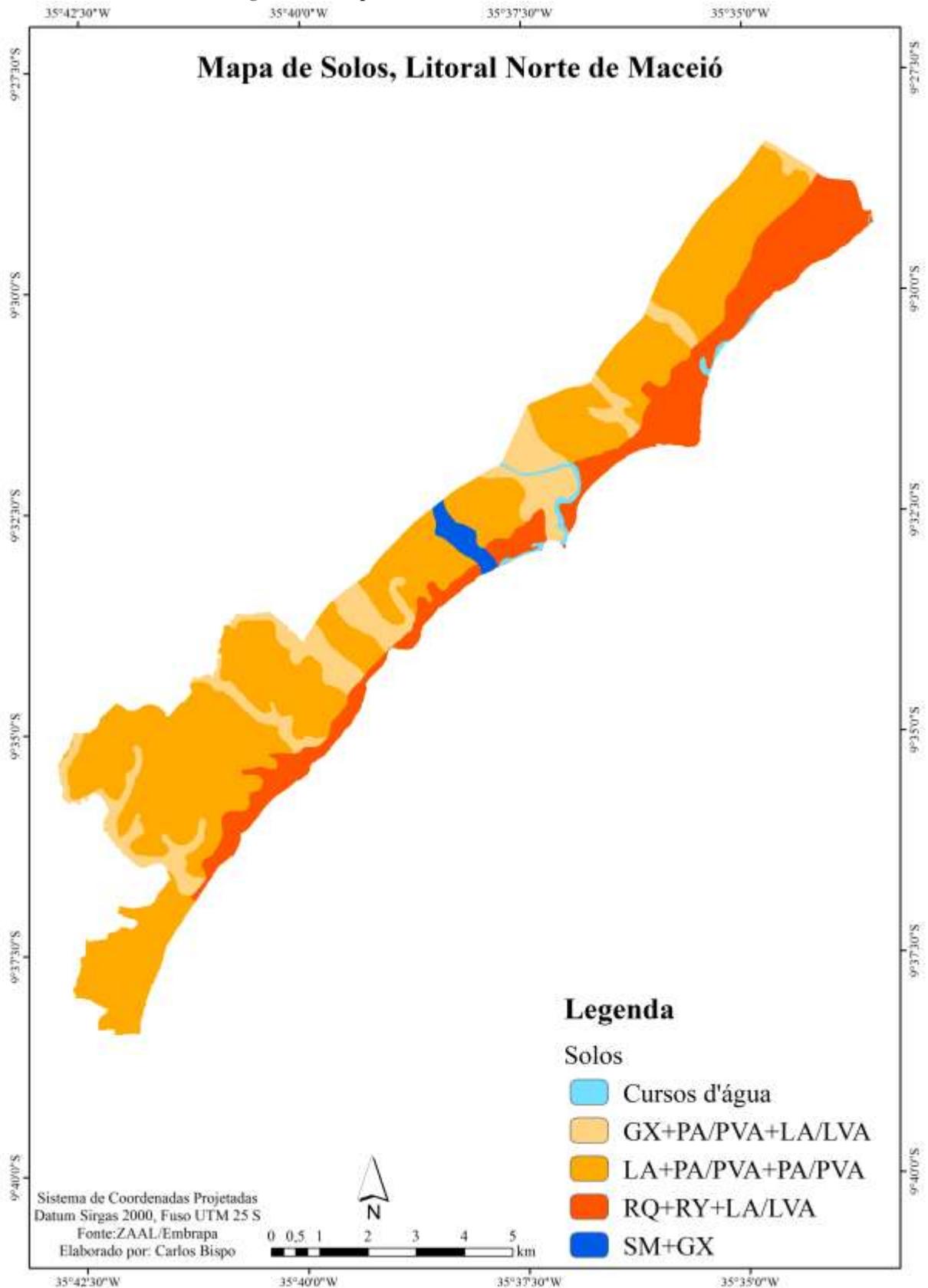
5.1.5 Solos

Quanto ao fator solo, mapeou-se quatro associações de solos, correspondendo a: (GX + PA/PVA+LA/LVA); (LA+PA/PVA+PA/PVA); (RQ+RY+LA/LVA); (SM+GX). Onde: GX= Gleissolos Háplicos; PA=Argissolos Amarelos; PVA=Argissolos Vermelho-Amarelos; LA=Latosolos Amarelos; LVA=Latosolos Vermelho-Amarelos; RQ=Neossolos Quartzarênicos; RY= Neossolos Flúvicos; SM=Solos Indiscriminados de Mangue. Na figura 43 vê-se a espacialização dessas associações, enquanto que na figura 44 tem-se a frequência de distribuição de cada uma das classes na área total. As classes de associações (GX+PA/PVA+LA/LVA); (LA+PA/PVA+PA/PVA); (RQ+RY+LA/LVA); (SM+GX), representaram frequências de distribuição de 16%; 61%; 21% e 1% respectivamente.

A classe mais predominante na área estudada (LA+PA/PVA+PA/PVA) são solos da Formação Barreiras, genericamente denominados solos de tabuleiro, apresentando material de origem pré-intemperizado, retrabalhado e que comprovadamente sofreu a influência de mudanças climáticas durante a pedogênese (Figura 45). Por apresentar diferentes texturas de solo (argilosos e arenosos) propicia o aumento da suscetibilidade a escorregamentos, em decorrência do favorecimento de zonas de rupturas em áreas de contato, conforme identificado em estudos da CPRM (2016).

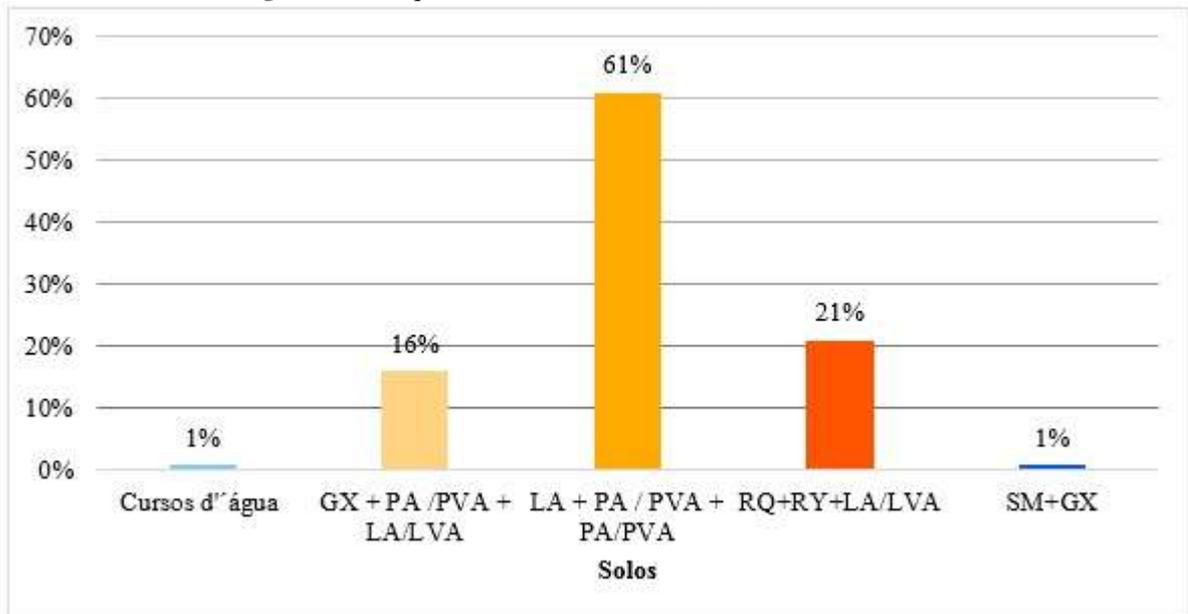
Em função da alta evolução pedogenética, os Latossolos são potencialmente destituídos de minerais primários ou secundários alteráveis. Em consequência, predominam no perfil basicamente óxidos e, ou hidróxidos, argilominerais 1:1 (principalmente caulinita), quartzo e alguns poucos minerais resistentes ao intemperismo. Os Argissolos, assim como os Latossolos, apresentam bastante sedimentos da Formação Barreiras, com textura variando de arenosa/média até média/muito argilosa. Possuem uma grande variedade de solos minerais, não hidromórficos, com significativa diferença de textura entre o horizonte superficial A e o de subsuperfície B textural (Bt), com acúmulo significativo de argila. Devido a essas características apresentam uma suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos considerável (EMBRAPA, 2012).

Figura 43 - Mapa de Solos, litoral norte de Maceió – AL



(GX=Gleissolos Hápicos; PA= Argissolos Amarelos; PVA= Argissolos Vermelho-Amarelos; LA= Latossolos Amarelos; LVA= Latossolos Vermelho-Amarelos; RQ= Neossolos Quartzarênicos; RY= Neossolos Flúvicos; SM= Solos Indiscriminados de Mangue.

Fonte: ZAAL/Embrapa, organizado pelo autor (2018)

Figura 44 - Frequência das classes de Solo, Litoral Norte de Maceió

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 45 - Corte no tabuleiro da Formação Barreiras, destacando a presença de argissolos

Fonte: autor (2018)

5.1.6 Uso e Ocupação da Terra

Apesar dos escorregamentos serem processos naturais, estes podem ser potencializados/induzidos por agentes antrópicos atuando sobre a morfologia das encostas. A área estudada se encontra, em processo acelerado de antropização, diante de uma perspectiva

de ocupação para fins de habitação (regular e irregular), empreendimentos comerciais e de fins especulativos. Guerra (2011) adverte que o impacto antropogênico sobre o relevo representa um dos principais fatores de influência sobre os processos de escorregamentos, pois a atuação e as atividades do homem interferem de modo a alterar o ambiente.

De acordo com as classes adotadas para o mapa de uso e ocupação da terra, mostrado na Figura 46, a classe que predomina é a composta por campo antrópico e pastagens, com frequência de 49% do total, essa classe apresenta áreas de vegetação herbácea, alguns arbustos e árvores esparsas e campos agricultáveis, características que contribuem para elevar o grau de suscetibilidade a escorregamentos. Relação constatada por Crepani *et al.*, (2001), cujo considera que a densidade de cobertura vegetal é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos, por isso, quanto mais intensa a cobertura vegetal maior a estabilidade encontrada. A classe composta por cobertura vegetal natural, apresentou apenas 14 % da frequência total, enquanto o solo exposto apresentou frequência de 6%.

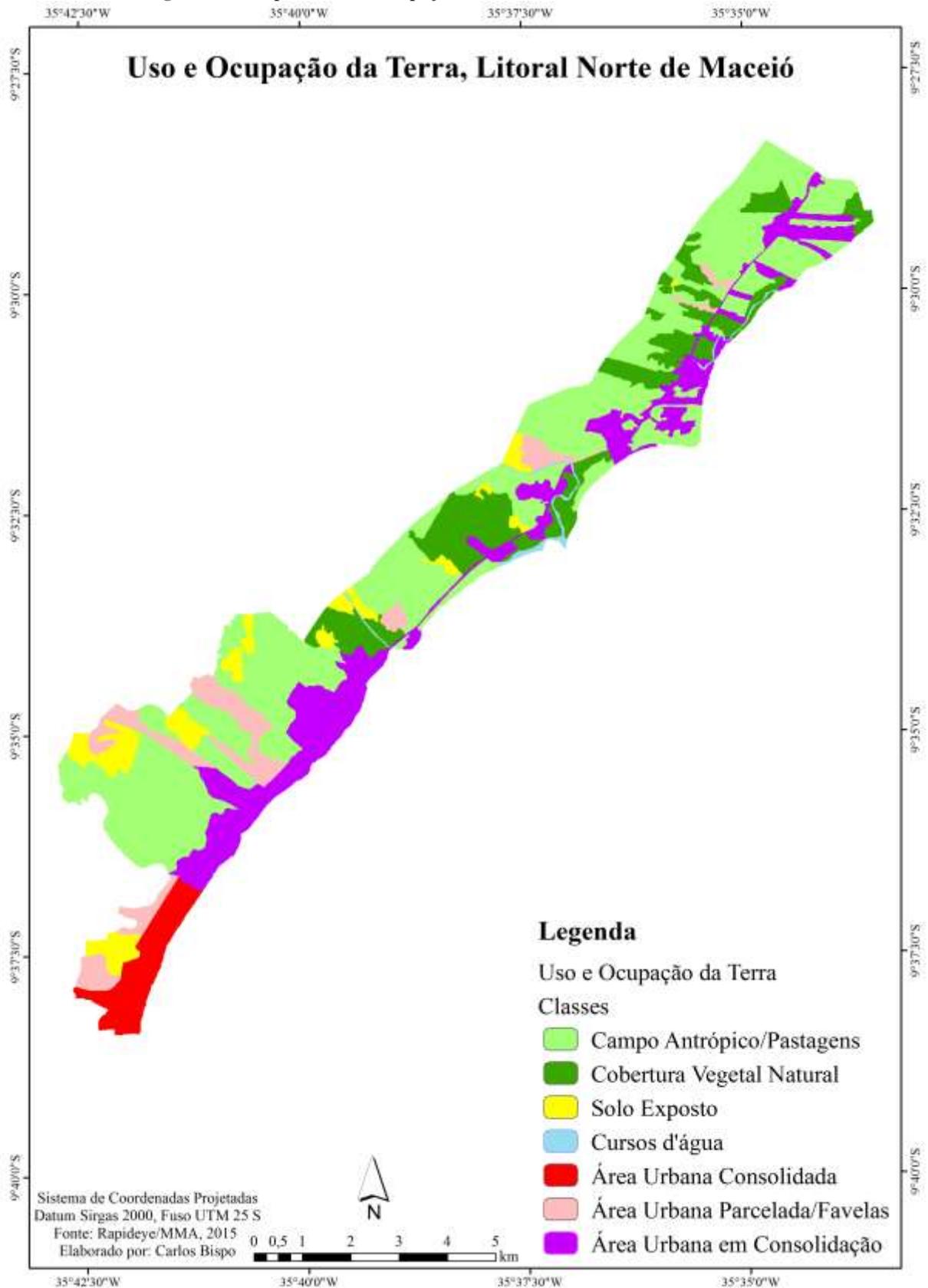
As demais classes em ordem decrescente de frequência, são: área urbana em consolidação com 17%; área urbana parcelada/favelas com 8%; área urbana consolidada com 5% e corpos d'água com 1%. Essa distribuição de frequência das classes de uso e ocupação é exposta na Figura 47.

Cabe destacar, com base em Almeida e Freitas (1996), que as áreas urbanas em consolidação, assim como, as áreas urbanas parceladas/favelas, por possuírem infraestrutura e equipamentos restritos, com grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução são consideradas como potenciais indutores e suscetibilidade a escorregamentos.

Na de área de estudo são observados em alguns pontos, cortes de taludes e a retirada da cobertura vegetal para a construção de moradias, estradas e a manutenção de lavouras de subsistência, fatores que aumentam o potencial de escoamento superficial, elevando a probabilidade de escorregamentos, pois o processo de uso e ocupação da terra influencia diretamente na dinâmica natural de evolução das encostas (Figura 48).

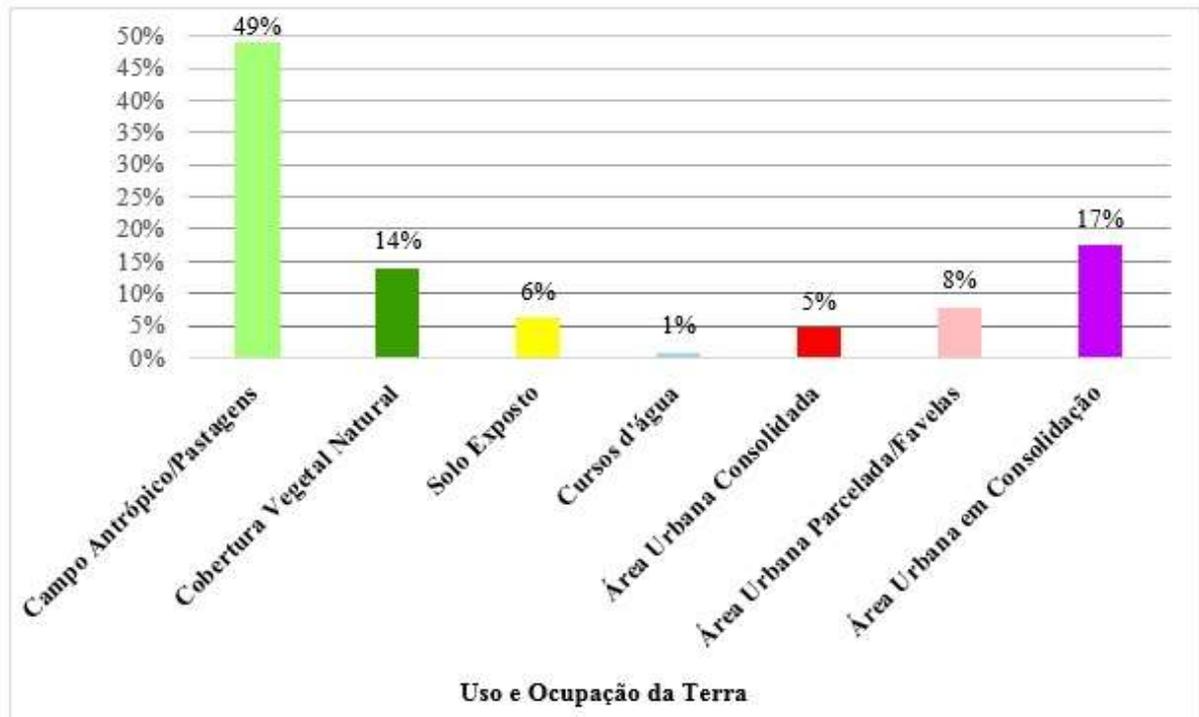
Em estudo realizado na região metropolitana de São Paulo, Listo (2011) assim como Almeida e Freitas (1996), observa que o aumento de áreas impermeabilizadas e sem infraestrutura, das superfícies de solo em exposição, assim como, à redução da cobertura vegetal, entre outros fatores, podem contribuir para a potencialização de escorregamentos, principalmente quando desprovidos do planejamento urbano.

Figura 46 - Mapa de Uso e Ocupação da Terra, Litoral Norte de Maceió - AL



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 47 - Frequência das classes de Uso e Ocupação da Terra, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 48 - Agentes antrópicos modificando a morfologia das encostas, litoral norte de Maceió



Fonte: autor (2017)

5.2 Análise dos dois cenários de suscetibilidade a escorregamentos (natural e induzida), diante da perspectiva do planejamento urbano

A diversidade paisagística faz do litoral norte de Maceió um setor bastante visado pelo meio turístico e imobiliário. Muitos empreendimentos do setor comercial/residencial têm se instalado por lá nos últimos anos, gerando uma imensa especulação imobiliária, conforme exposto por Araújo (2016) (Figura 49), porém a questão ambiental tem sido negligenciada, uma vez que não há um planejamento adequado e estudos que visem a melhor disposição da ocupação.

Figura 49 - Novos empreendimentos no litoral norte de Maceió



Fonte: Araújo (2016)

À exemplo desses novos empreendimentos instalados no litoral norte de Maceió, cita-se a construção de um *shopping center*, inaugurado em 2013 em uma área de antigo lixão desativado em 2010. Pela legislação federal, devido o risco de contaminação pelo gás metano e outros poluentes, deveria ser respeitado um período de ao menos 30 anos para que fossem realizadas construções no entorno do antigo lixão. Em decorrência disto, a área de contenção ao redor do shopping já sofreu vários processos de escorregamentos nos últimos anos (Figura 50). Para o próprio órgão que licenciou a obra, Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente de Maceió, a sedimentação de matéria orgânica pode ter se compactado e o resultado foi o acúmulo de bolsões que, não suportando o peso da acomodação de terra na superfície, teria provocado o escorregamento da contenção do talude (SEMPMA, 2015).

Figura 50 - Escorregamento da contenção do talude próximo a um shopping em Maceió



Fonte: autor (2018)

O exemplo anterior serve para ilustrar um dos principais desafios que o município de Maceió está enfrentando no tocante a aplicação de uma política de planejamento urbano que vise a preservação do meio ambiente. Devido ao crescimento urbano acelerado nos últimos anos, os setores Sul e Central do município se encontram densamente ocupados com alta concentração populacional em áreas de risco (Figura 51).

Figura 51 - Adensamento de moradias em uma área de risco no setor Sul do município de Maceió



Fonte: autor (2016)

Em decorrência da falta de moradia nas porções Sul e Centro do município de Maceió a tendência de novas ocupações tem se direcionado para o Litoral Norte, tanto em habitações de baixo padrão construtivos quanto de alto padrão, como residências e condomínios luxuosos. Sendo assim, urge a necessidade de evitar que as novas ocupações sejam realizadas de forma danosa ao meio ambiente, a fim de evitar a ampliação da suscetibilidade quanto a processos de escorregamentos (Figura 52).

Figura 52 - Ocupação em um setor de formas côncavo/retilíneo (na seta laranja demonstra-se o adensamento de habitações de pequeno porte; o círculo vermelho destaca um casarão de luxo situado no topo do tabuleiro; os traçados em amarelo representam cicatrizes de escorregamento, Litoral Norte de Maceió)



Fonte: autor (2018)

A construção de habitações em locais impróprios (susceptíveis) não é um caso exclusivo de Maceió. De acordo com Brasil (2007), muitas das cidades brasileiras têm problemas relacionados a movimentos de massa, sendo as regiões metropolitanas as que apresentam situações de risco mais graves, em decorrência do grande número de núcleos habitacionais de baixa renda que ocupam terrenos impróprios para a ocupação. Para o caso específico do litoral norte de Maceió, diante de sua beleza cênica, ver-se além de habitações de baixo padrão construtivos, mansões de alto padrão construtivo em áreas que são protegidas por lei.

A ocupação de terrenos susceptíveis a escorregamentos e outros problemas como erosão vai de encontro a diversas legislações às quais partem da esfera municipal à federal. Em termos de jurisdição, o município de Maceió possui uma legislação específica que trata da ocupação e ordenação das encostas, Lei 5.593/07 (Código de Urbanismo e Edificações). No

seu art. 139, está expresso que além das Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico (ZIAPs), as encostas, principalmente as que margeiam e separam as planícies litorâneas e lagunar dos planaltos, são consideradas áreas públicas paisagísticas, devendo ser preservadas em função do seu papel modelador da paisagem e mantenedor do equilíbrio ecológico. Já a Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979 – (Lei Lehmann) determina que não será permitido parcelamento em terreno com declividade igual ou superior a 30% (~16,8°), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes.

Diante do entendimento da necessidade da preservação de ambientes suscetíveis a desastres, criou-se através da Lei Federal nº12.608/12, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que especifica em seus objetivos a necessidade de combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco; e promover a realocação da população residente nessas áreas (inciso XI), reforçando, assim, a necessária atuação dos gestores públicos perante o planejamento territorial. Por meio dessa lei dar-se autorização aos municípios para a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres ambientais.

Para minorar esse problema das ocupações de áreas impróprias para a habitação, os mapeamentos de suscetibilidade a escorregamentos constituem-se em um importante instrumento para o planejamento ambiental visando prevenir desastres ambientais, atendendo ao que foi proposto pela Lei Federal nº12.608/12. Estes mapas são utilizados por muitos pesquisadores, apresentando resultados significativos, conforme já demonstrados nos trabalhos de Cardozo e Herrmann (2011); Listo (2011); Reis *et al.* (2012); Brito (2014), Torres (2014), entre outros.

As modelagens realizadas nesta dissertação, suscetibilidade natural e induzida, levou em consideração três níveis de suscetibilidade: baixa, média e alta. As áreas que apresentam suscetibilidade alta são aquelas onde estão presentes os condicionantes mais propícios a escorregamentos, há uma possível ocorrência de escorregamentos translacionais, podendo ser desencadeada ou acelerada pela pluviosidade. Para a classe que apresenta suscetibilidade média, tem-se áreas que não reúnem todos os condicionantes propícios a escorregamentos, mesmo assim, ainda possuem um grau considerável de probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Já a classe designada de suscetibilidade baixa, corresponde às áreas que reúnem condicionantes pouco propícios à ocorrência de escorregamentos. Espera-se que não ocorram escorregamentos nas regiões de baixa suscetibilidade.

Para a carta de suscetibilidade natural a escorregamentos do litoral norte de Maceió (Figura 53), as classes de suscetibilidade baixa, média, alta, apresentaram respectivamente

uma frequência de 26%, 64% e 10% (Figura 54). Todas as classes de suscetibilidade encontram-se em maior ou menor densidade distribuídas por toda a extensão da área estudada. Na Figura 55 observa-se uma cicatriz de escorregamento em uma área não ocupada.

Através de correlações realizadas no ambiente SIG, assim como pelas observações nos trabalhos de campo, constatou-se que nas áreas com suscetibilidade baixa, a possibilidade de ocorrência de escorregamentos é quase nula, pois os terrenos possuem declividades suavizadas (0° - $9,6^{\circ}$) não possibilitando o fluxo rápido de massas de solo ou rocha pelo efeito da gravidade. Com formas de terreno predominantemente retilínea/planar, esses padrões de forma reduzem o impacto da água com dispersão do fluxo, sendo as planícies fluvial e flúvio-marinha expressivas perante o grau de suscetibilidade baixo. Quanto ao padrão geológico, observou-se que o grau de suscetibilidade baixa é correspondente as classes dos depósitos litorâneos, fluviais e de manguezais. Já para o solo correspondente ao grau de baixa suscetibilidade foram principalmente as classes dos Gleissolos Háplicos, dos Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos.

Nos locais com grau de suscetibilidade média existe uma possibilidade de ocorrência de escorregamentos ainda que reduzido. Correspondem a formas de terreno principalmente convexas detentoras de declividade entre $9,6^{\circ}$ a $16,7^{\circ}$. Geologicamente corresponde a Formação Barreiras, que devido a suas características físicas, apresenta suscetibilidade significativa. Os tabuleiros (topo planar e convexo), assim como, os solos (latossolos e argissolos em maior proporção) composto por essa formação, também contribuem significativamente para a classificação do grau de suscetibilidade médio.

As áreas de suscetibilidade alta apresentam áreas com elevada potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, pois os terrenos possuem declividades bastante íngremes ($16,8^{\circ}$ >) favorecendo o fluxo rápido de massas de solo ou rocha pelo efeito da gravidade. Com formas de terreno predominantemente côncavas, esses padrões de forma aceleram o impacto da água com concentração do fluxo, conforme já demonstrado por Valeriano e Carvalho Júnior (2003). As encostas são os principais modelados responsáveis pela elevação do grau de suscetibilidade na área. Quanto ao padrão geológico observou-se que o grau de suscetibilidade alto tem influência significativa da Formação Barreiras. Quanto ao fator solo, os argissolos e latossolos são condicionantes significativos para elevar o grau de suscetibilidade para alto (RODRIGUES, CALHEIROS, MELO, 2007);

A carta de suscetibilidade induzida do litoral norte de Maceió teve o acréscimo do mapa de uso e ocupação da terra (Figura 56), em decorrência disto, as classes de suscetibilidade Baixa, Média, Alta, apresentaram respectivamente uma frequência de 10%,

75% e 15% (Figura 57). Todas as classes de suscetibilidade também se encontram em maior ou menor densidade distribuídas por toda a extensão da área estudada. Na Figura 58, observa-se uma cicatriz de escorregamento em um talude alterado por ações antrópicas.

Os padrões afetados pelos graus de suscetibilidade baixo, médio e alto para a carta de suscetibilidade induzida sofreram algumas alterações quando comparados com a carta de suscetibilidade natural. Para evitar redundâncias serão enfatizados os aspectos que contribuíram para a diferenciação entre os graus de suscetibilidade entres as duas cartas.

Com o acréscimo do fator uso e ocupação da terra no mapeamento da suscetibilidade induzida houve o aumento dos graus de suscetibilidade média e alta de 64% e 10% respectivamente, para 75% e 15% respectivamente. Essa elevação do grau de suscetibilidade nas classes média e alta foi notada espacialmente, quando correlacionado no ambiente SIG.

No fator declividade houve um aumento do grau de suscetibilidade média na classe de declividade correspondente a $0-9,6^\circ$, já o aumento da suscetibilidade alta deu-se principalmente na classe de declividade $16,8^\circ >$. No mapa de formas do terreno notou-se que as formas côncavas influenciaram ainda mais a área de alcance da suscetibilidade alta, já as formas retilíneas passaram apresentar significância para o elevar o grau de suscetibilidade média. Diante do mapa das unidades geomorfológicas teve-se o aumento do grau de suscetibilidade média perante os modelados de acumulação correspondente a planície flúvio - marinha. Quanto ao padrão geológico observou-se uma maior influência da suscetibilidade alta diante da Formação Barreiras e uma distribuição da suscetibilidade média pela classe dos depósitos litorâneos. Para o fator solo, teve-se maior influência da suscetibilidade alta perante os latossolos e argissolos; e uma distribuição da suscetibilidade média pelas classes dos Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Flúvicos.

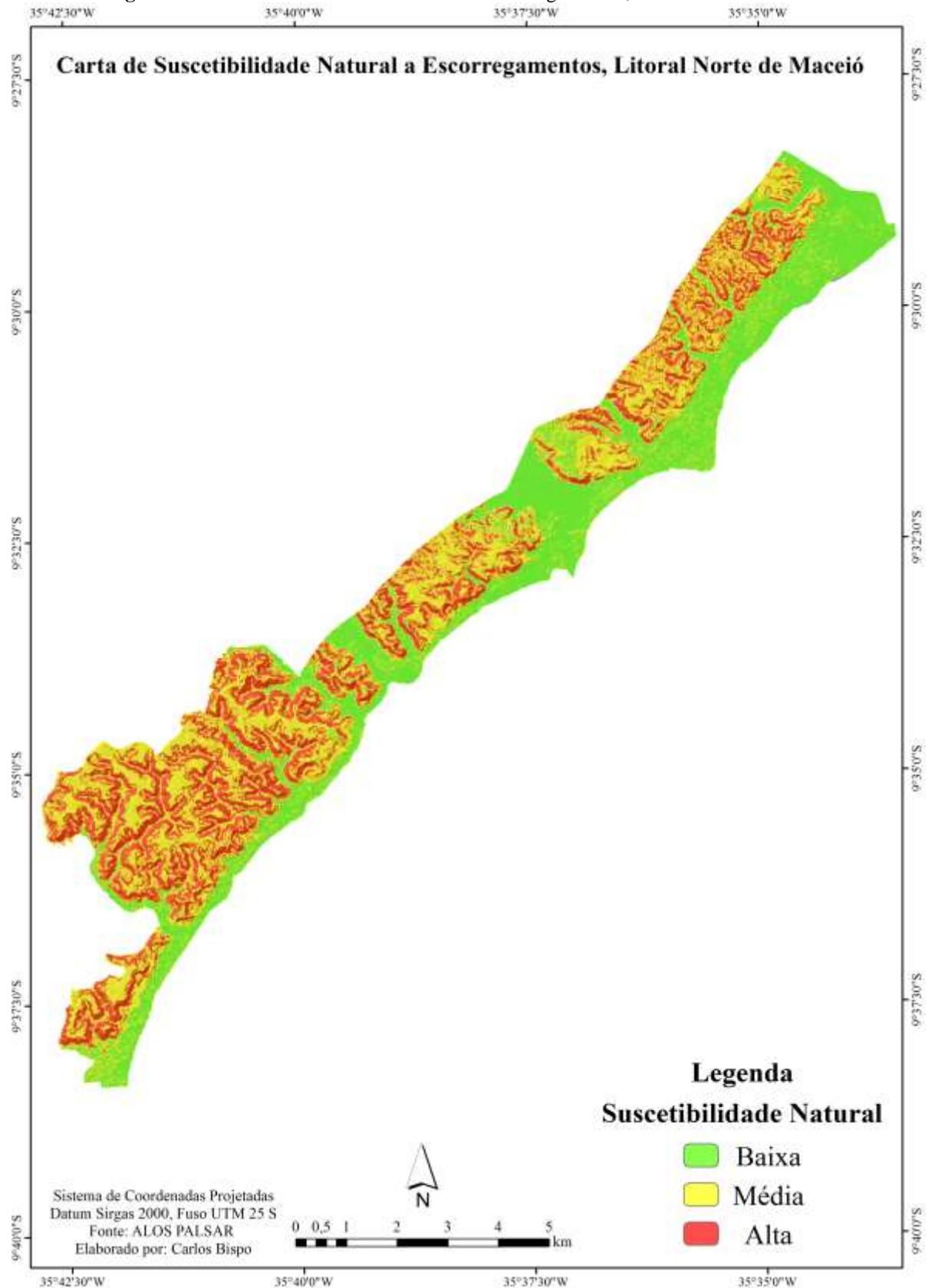
Sendo assim, pode-se inferir que o aumento da suscetibilidade média e alta em detrimento da baixa na correlação carta de suscetibilidade Natural *versus* carta de suscetibilidade induzida, decorre das modificações antrópicas perante os demais condicionantes que influenciam a suscetibilidade a escorregamentos.

Observou-se pela análise do mapa de uso e ocupação da terra correlacionado como as cartas de suscetibilidade (natural e induzida) que a o grau de suscetibilidade média foi elevado principalmente devido a influência das formas de uso correspondente a área urbana em consolidação e a área urbana parcelada/favelas. Constituem áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução onde falta de infraestrutura e equipamentos urbanos.

Já o grau de suscetibilidade alta foi elevado devido a forma de uso para campo antrópico/pastagens e as áreas de solo exposto. Destacam-se nessas áreas solos desnudos e/ou com vegetação herbácea, alguns arbustos e árvores esparsas e campos agricultáveis.

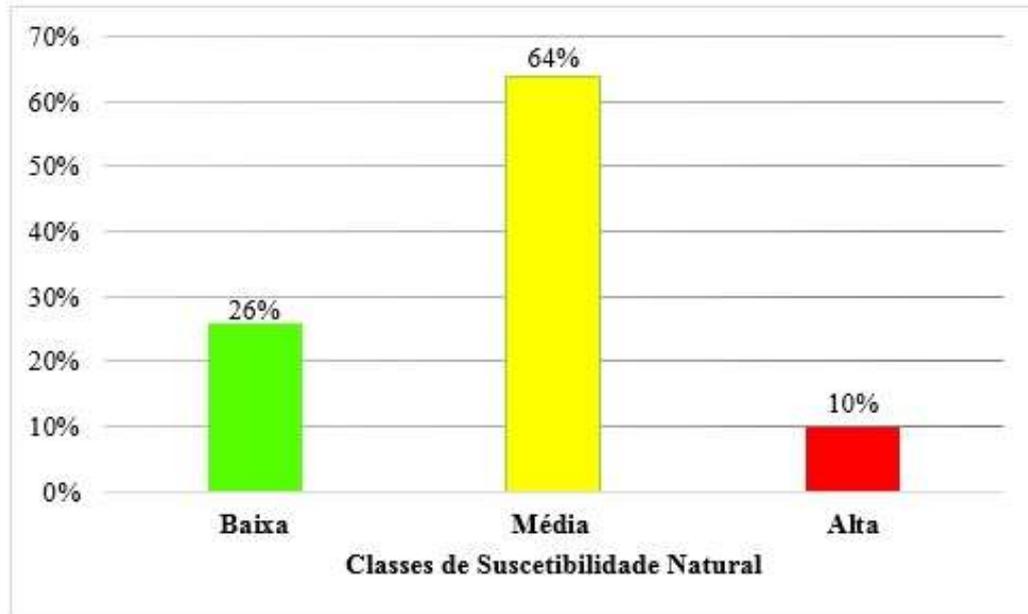
Depreende-se que as áreas que correspondem à suscetibilidade baixa estão aptas a ocupação, sem riscos eminentes quanto a processos de escorregamentos. As áreas que correspondem à suscetibilidade média podem ser ocupadas desde que se adequem às normas técnicas e ambientais. Nas áreas com suscetibilidade Alta não é recomendado a ocupação devido a associação de fatores que possibilitam a ocorrência de escorregamentos, nestas áreas recomenda-se a sua preservação, considerando-se o seu papel modelador da paisagem e mantenedor do equilíbrio ecológico, estas áreas devem ser enquadradas como Zonas de Interesse Ambiental e Paisagístico (ZIAPs) de acordo com a lei 5.593/07 (Código de Urbanismo e Edificações de Maceió) ou seja, Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme recomenda o Código Florestal brasileiro. Para as áreas que já se encontram consolidadas/ocupadas é importante o monitoramento por parte dos órgãos competentes do município de Maceió.

Figura 53 - Carta de suscetibilidade natural a escorregamentos, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 54 - Frequência das classes de suscetibilidade natural a escorregamentos, litoral norte de Maceió



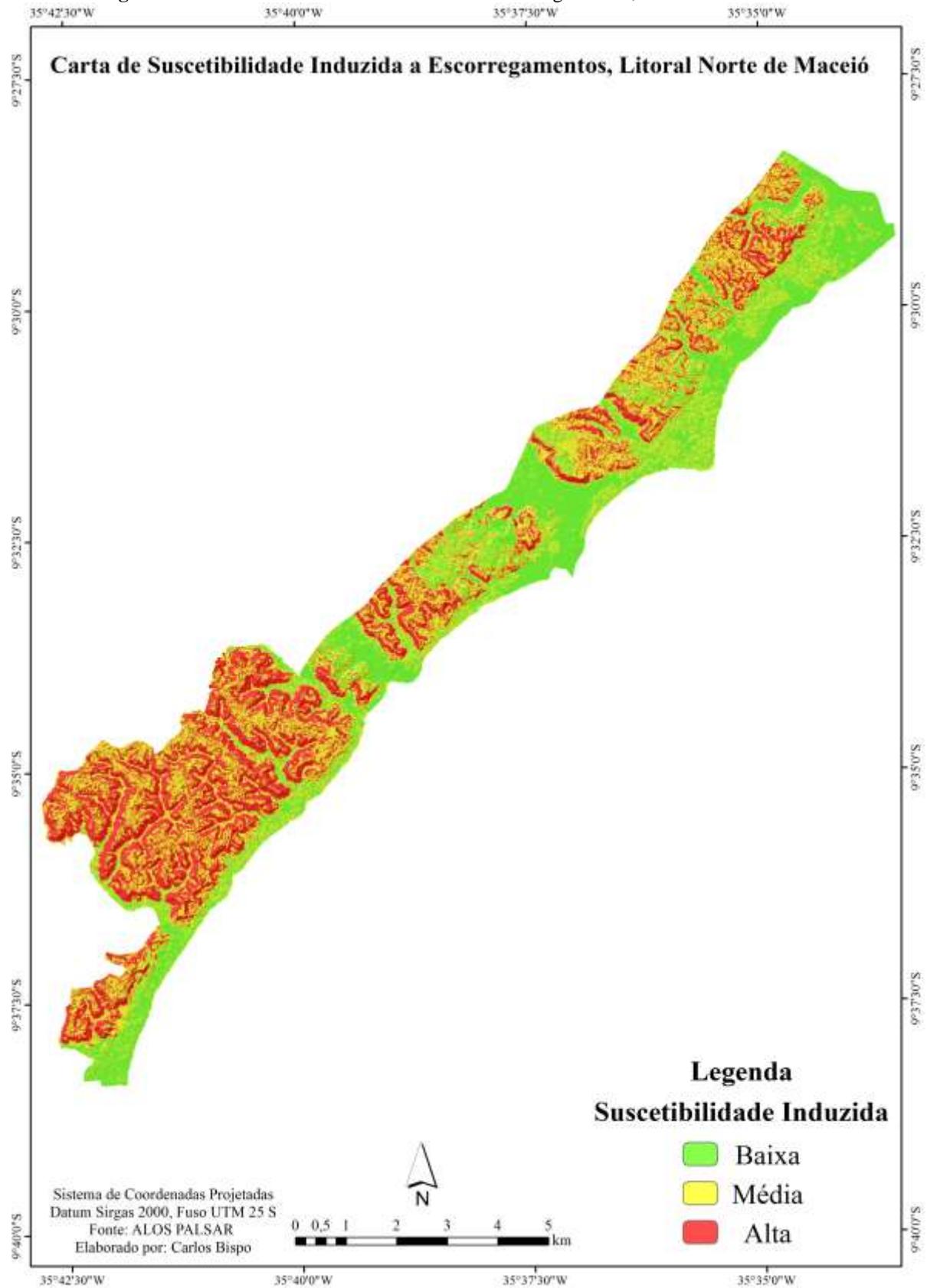
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 55 - Cicatriz de escorregamento em uma área sem ocupação (suscetibilidade média), litoral norte de Maceió



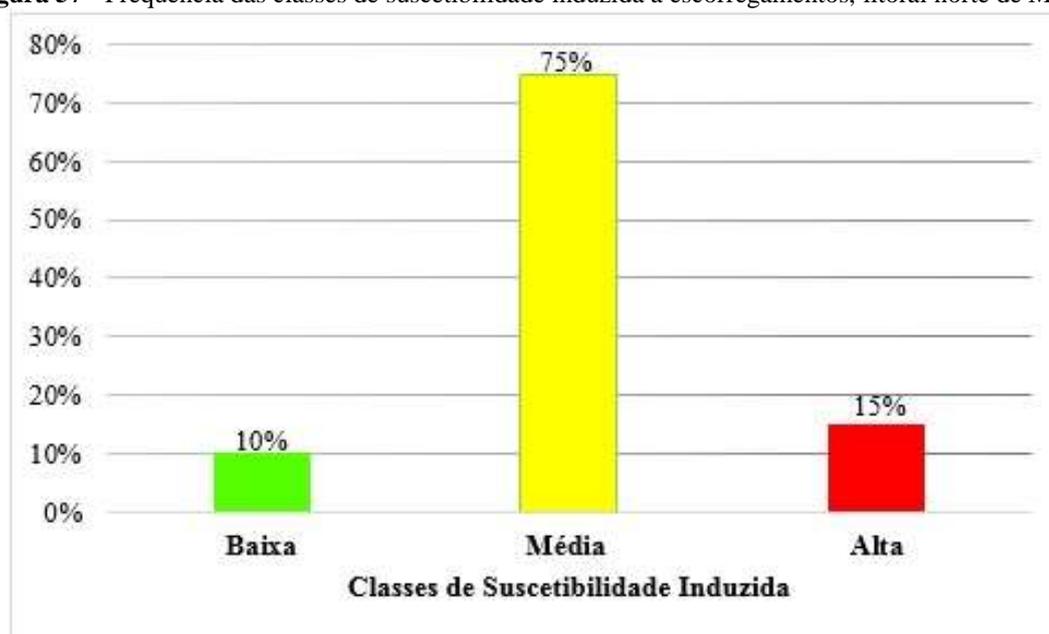
Fonte: autor (2016)

Figura 56 - Carta de suscetibilidade induzida a escorregamentos, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 57 - Frequência das classes de suscetibilidade induzida a escorregamentos, litoral norte de Maceió



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Figura 58 - Cicatriz de escorregamento em um talude de corte (suscetibilidade média), litoral norte de Maceió



Fonte: autor (2018)

5.3 Validação dos dois cenários de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos

A validação dos mapas de suscetibilidade é fundamental para determinar sua capacidade de previsão. Quanto maior a coincidência entre os escorregamentos e a área designada como sendo de alta suscetibilidade, melhor é considerado o desempenho do cenário (BRITO, 2014).

Foi realizado o mapeamento das cicatrizes de escorregamentos na área estudada, onde localizou-se 29 cicatrizes de escorregamentos (Figura 59). Para a delimitação destas, observou-se as diferenças de textura de solo e aspectos alongados, sendo considerado somente a porção de ruptura da cicatriz (MARTINS; OKA-FIORI; VIEIRA, 2015).

Através da superposição das cicatrizes de escorregamentos nas cartas de suscetibilidade natural (Figura 60) e suscetibilidade induzida (Figura 61), pode-se observar que os modelos utilizados para a avaliação da suscetibilidade a escorregamentos se mostraram aplicáveis para o litoral norte de Maceió.

Na carta de suscetibilidade natural a Concentração de Cicatrizes de Escorregamentos – CCE (Figura 62), portou-se da seguinte forma: 69% na classe de suscetibilidade alta; 30% nas classes de suscetibilidade média e apenas 1% na classe de suscetibilidade baixa. Para a carta de suscetibilidade induzida, 74% dos escorregamentos estão concentrados na classe de suscetibilidade alta; 25% na classe de suscetibilidade média e 1% na classe de suscetibilidade baixa.

Em um estudo sobre suscetibilidade a escorregamentos no município de Ipojuca no Estado de Pernambuco, Torres (2014) para validar a carta de suscetibilidade identificou 103 cicatrizes; desse total, 53% dos escorregamentos estavam concentrados nas classes de suscetibilidade alta; 44% na classe de suscetibilidade média e 4% na classe de suscetibilidade baixa.

Já Brito (2014), ao analisar a suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS, identificou 107 cicatrizes. Para a carta de suscetibilidade natural, 95,2% das cicatrizes estavam concentradas nas classes de suscetibilidade alta e muito alta; 2,8% na classe de suscetibilidade média e 1,8% na classe de suscetibilidade baixa. Já para a carta de suscetibilidade induzida, 94,3% das cicatrizes estavam nas classes de suscetibilidade alta e muito alta; 2,8% na classe de suscetibilidade média e 2,8 % na classe de suscetibilidade baixa.

Desta forma, os resultados expressos pela validação dos mapas de suscetibilidade (natural e induzida) da presente pesquisa, assim como nos dois exemplos citados

anteriormente, indicam conforme o esperado, que a maior parte dos escorregamentos estão inseridos na classe de suscetibilidade alta.

Embora a atribuição de pesos dos fatores analisados tenha sido pela abordagem heurística, com uso do método AHP, os resultados dos modelos aplicados assemelham-se com a realidade, podendo desta forma servir para fins de planejamento urbano da área estudada. Comparando-se os dois cenários, percebe-se que o cenário da suscetibilidade induzida apresentou maior acurácia, 74% dos escorregamentos estão concentrados na maior classe de suscetibilidade. Já o cenário de suscetibilidade natural a acurácia se mostrou um pouco menor, 69% de concentração dos escorregamentos na classe de suscetibilidade alta. Desta forma, ambos apresentaram taxas de acurácia satisfatórias para serem validados e aplicados.

Figura 59 - Mapa de cicatrizes de escorregamentos, litoral norte de Maceió

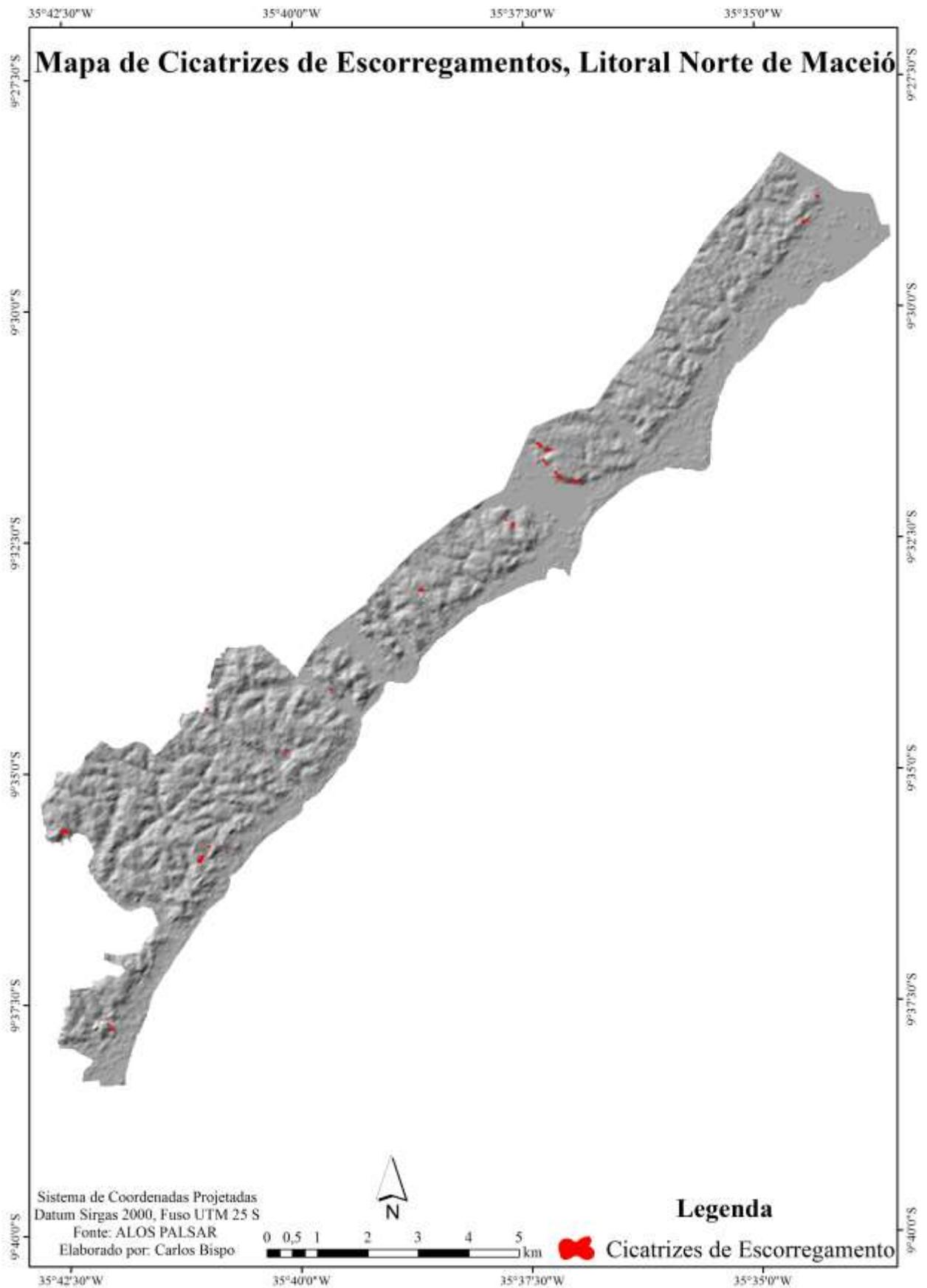
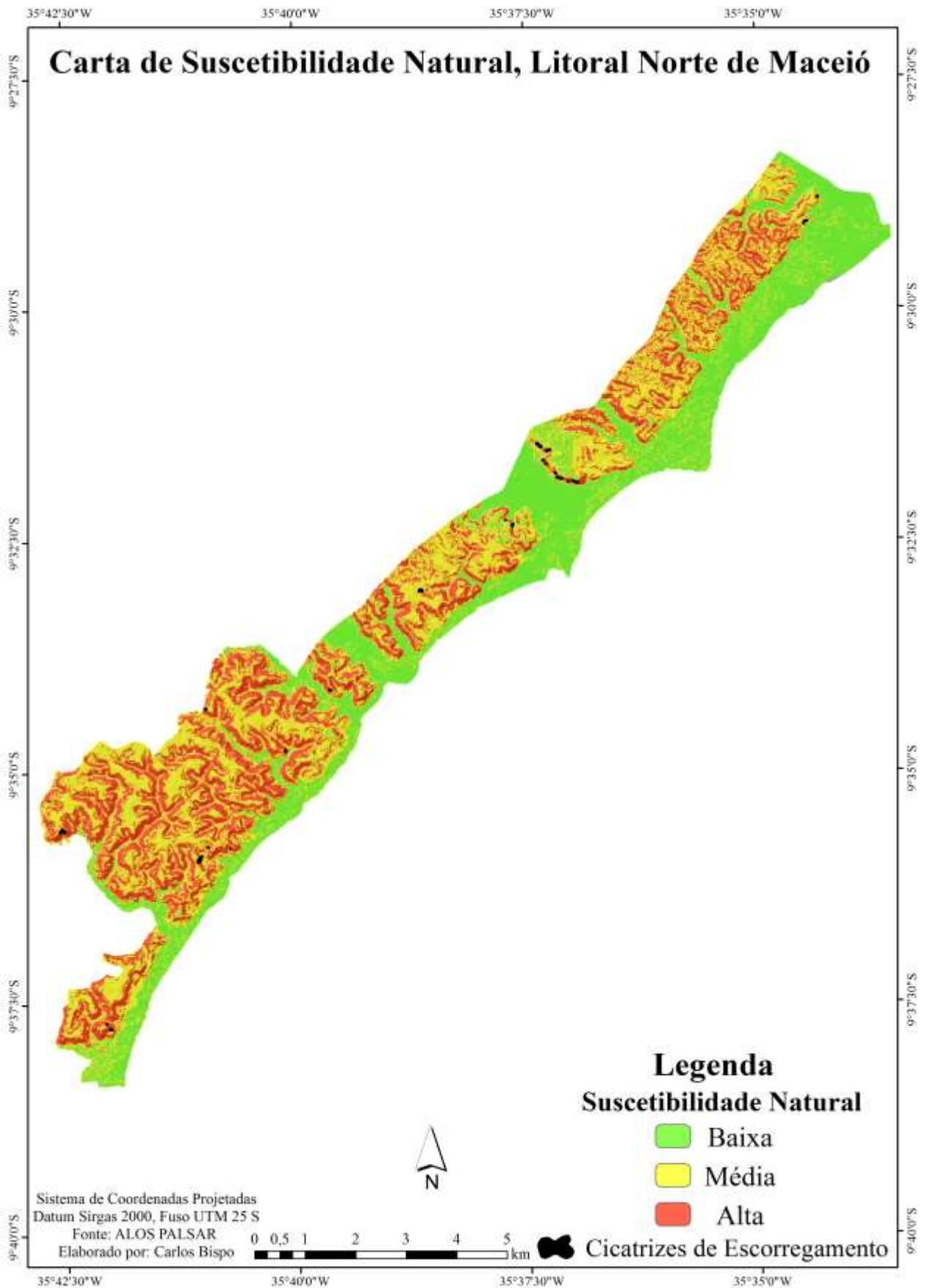
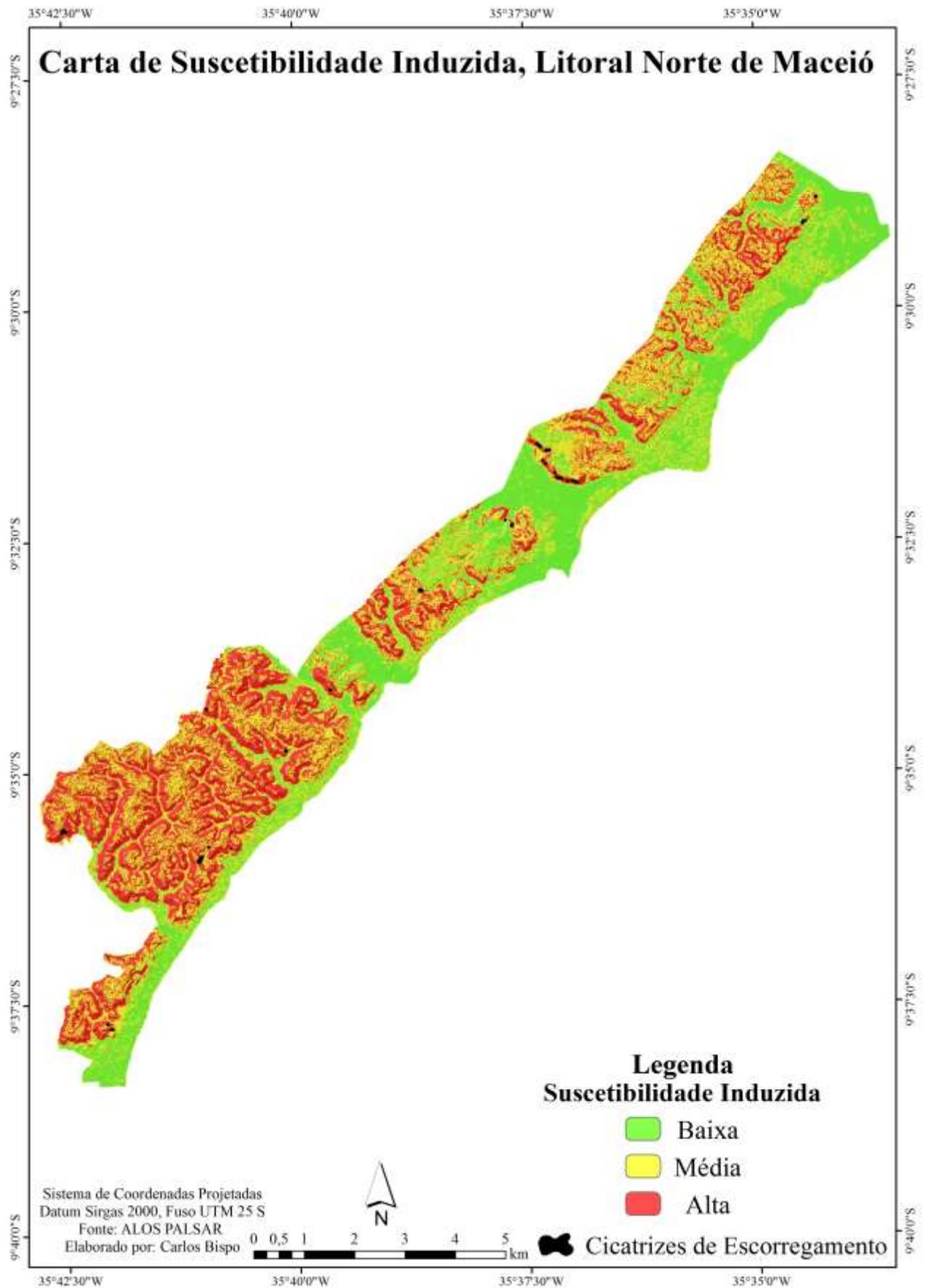


Figura 60 - Superposição das cicatrizes de escorregamentos no mapa de suscetibilidade natural

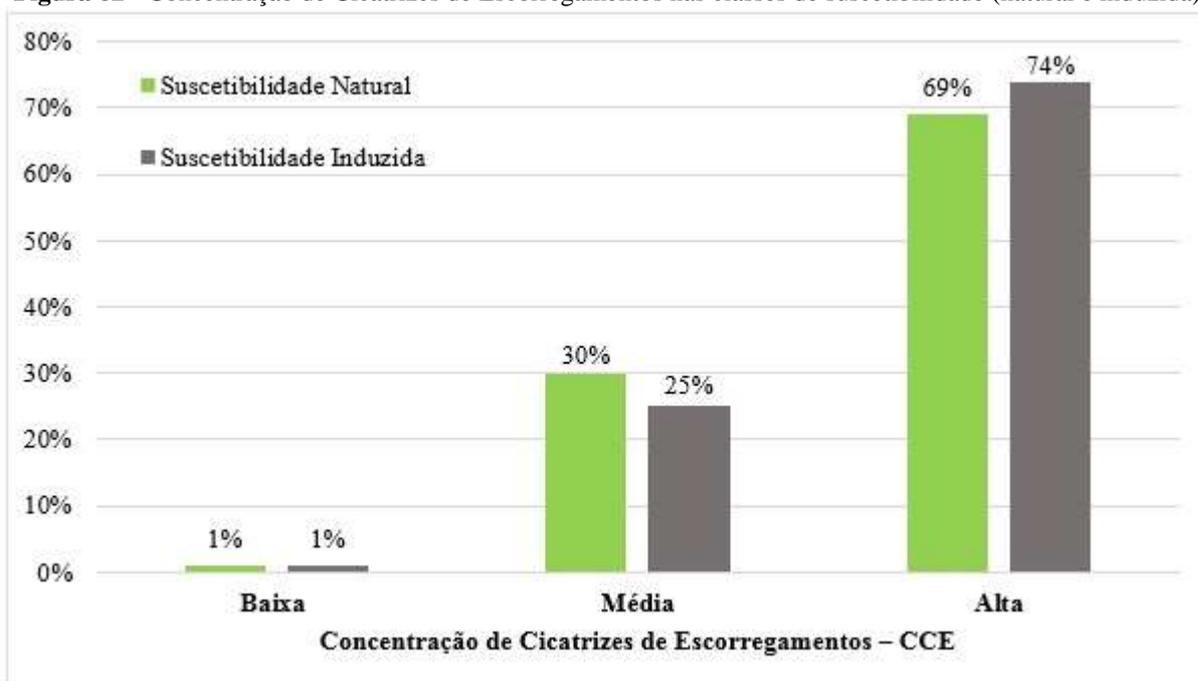


Fonte: autor (2018)

Figura 61 - Superposição das cicatrizes de escorregamentos no mapa de suscetibilidade induzida



Fonte: autor (2018)

Figura 62 - Concentração de Cicatrizes de Escorregamentos nas classes de suscetibilidade (natural e induzida)

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão urbana do litoral norte de Maceió tem acelerado a degradação ambiental da região. Observou-se que os agentes imobiliários têm feito uso da terra sem considerar as limitações ambientais, ao mesmo tempo em que classes de menor padrão econômico avançam para áreas ainda mais suscetíveis, como fundo de vales e encostas declivosas. Nessas condições as cartas de suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamento são instrumentos essenciais para nortear a ocupação, indicando locais mais ou menos suscetíveis a esses processos.

A suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos decorre de um conjunto de variáveis condicionantes, na área estudada os principais condicionantes foram a declividade, forma do terreno, geomorfologia, geologia, solos e uso e ocupação da terra. Diante disso, os mapas de suscetibilidade natural e induzida apresentaram três classes com o predomínio da classe de suscetibilidade média em ambos, indicando um estado de alerta.

Notou-se pela comparação das cartas de suscetibilidade natural e de suscetibilidade induzida, que há diversas formas de uso e ocupação da terra no litoral norte de Maceió têm contribuído para elevar a suscetibilidade média e alta. Pois os agentes antrópicos atuam como potencializadores dos escorregamentos. Isso acontece em decorrência do uso indevido das áreas declivosas, remoção da vegetação, cortes e aterros mal executados para a construção de casas e estradas, lançamento direto de águas servidas, entre outros.

As cartas de suscetibilidade natural e induzida tiveram sua validação através do mapeamento de cicatrizes, tendo uma grande quantidade de cicatrizes presentes nas classes de maior suscetibilidade (alta), o que atestou sua aplicabilidade, pois quanto maior a coincidência entre os escorregamentos e a área designada como sendo de alta suscetibilidade, melhor é considerado o desempenho dos mapeamentos.

A utilização das ferramentas de geoprocessamento assim como a utilização do método AHP contribuiu significativamente para os diagnósticos de suscetibilidade e mostrou quão importante a sua manipulação para o planejamento urbano e territorial.

Os resultados das modelagens poderiam se apresentar de forma mais detalhada, apresentando a mesma resolução espacial, mas infelizmente não foi possível operar para este trabalho devido a carência de dados mais apurados para área, chegou-se ao máximo de detalhe que se pode. Espera-se que este estudo possa contribuir para a disseminação de conhecimento junto às comunidades e os gestores públicos quanto aos processos de uso e ocupação da terra do ambiente urbano, na busca de alternativas de preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. J; FREITAS, C. G. L. Uso do Solo Urbano: Suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996. **Anais...** São Carlos: ABGE, p. 195-200. 1996.

AMORIM, R. F.; SILVA, D. G.; CORRÊA, A. C. B. Cartografia de relevo aplicado à bacia do riacho Bruscas, Maciço da Serra da Baixa Verde (PE/PB), Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 1, p. 1-20, 2015.

ARAUJO, C.P. More em um cartão postal: a expansão imobiliária turística no litoral norte de Maceió (AL). In: V Colóquio Internacional sobre o comércio e a cidade: uma relação de origem. São Paulo, 2016. **Anais...** V Colóquio Internacional sobre o comércio e a cidade: uma relação de origem, São Paulo, 2016. p. 1-13.

ARAÚJO, T. C. M. de. *et al.* **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Alagoas, 2006. 212 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008085112.pdf> Acesso em: 28 nov. 2016.

ARAUJO, L. M. N. *et al.* Avaliação da Distribuição Espaço-Temporal Histórica de Eventos Chuvosos no Rio De Janeiro. In: XIV IWRA World Water Congress, 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** XIV IWRA WORLD WATER CONGRESS, Porto de Galinhas, 2011.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S. **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 49p.,1988.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, 1992. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733.

AZAMBUJA, R. N. **Análise Geomorfológica em áreas de expansão urbana no município de Garanhuns – PE**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro** - Janeiro de 2011. Rio de Janeiro, 2012.

BISPO, C. O. et al. Diagnóstico e espacialização de eventos de movimentos de massa no município de Maceió - AL. In: Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio. (Org.). **3º GeoAlagoas** - Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas (2015). 3ed. Maceió: Alagoas, 2015, p. 1-8.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm#ART12§2.> Acesso em: 10 jan. 2017.

_____. **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; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.

<<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>> Acesso em: 14 abr. 2017.

_____. **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acesso em: 14 abr. 2017.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, (orgs). – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 175 p.

BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2014.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; SILVA FILHO, L. C. P. Multi-Criteria Analysis Applied to Landslide Susceptibility Mapping. **Revista Brasileira de Geomorfologia (online)**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 719-735, out-dez. 2017.

CAMPOS, R.; CARVALHO, C. P.; TENÓRIO, D. **Enciclopédia municípios de Alagoas.** Maceió: Instituto Arnon de Mello, 2006. 539 p.

CAMARINHA, P. I. M.; CANAVESI, V.; ALVALÁ, R. C. S. Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in a coastal region in the state of São Paulo, Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, p. 2449-2468, 2014.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M. L. P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 4134-4141.

CARVALHO, C. P. **Economia popular: uma via de modernização para Alagoas.** Maceió: EDUFAL, 2005. 109 p.

CARVALHO, C. M.; RIEDEL, P. S. Técnicas de Geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade a escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão - SP In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia, Brasil, 2005. INPE, p. 2901 - 2908.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da “Shuttler Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9 n.1, p. 35-41, 2008.

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. **Dados dos pluviômetros automáticos/Maceió.** Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/pluviometros-automatico/>> Acesso em: 17 dez. 2017.

CORRÊA, A. C. B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de Geografia** – UFPE – DCG/NAPA. V. 23, n. 3; 2006.

COSTA, J. de A.; RAMOS, V. A. Espaço urbano de Maceió: ambiente físico e organização sócio – econômica. In: ARAUJO, L.M. **Geografia espaço, tempo e planejamento**. Maceió: Edufal, 2004. pp. 191-205.

CPRM, IPT. (2014). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos, Junho de 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. Edgard Blucher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. pp. 415-442.

DEMEK J. (ed) **Manual of detailed geomorphological mapping**. Praga, IGU, CommGeomorph. Surv. Mapping, 1972.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico de Alagoas/ Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Alagoas**. Embrapa/solos, Recife, 2012.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, p. 83-111, 2008.

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

GIRÃO O.; CORRÊA A.C. de B.; GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas como Unidades de Gestão e Planejamento, a partir do Estudo de Áreas a sudoeste da cidade do Recife – PE. **Revista de Geografia**. Recife, v. 24, n. 3, p. 242-267, set/dez. 2007.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. pp. 13-42.

GUERRA A J T. *et al.* Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. **Pedosphere**. v. 27, p. 27–41, 2017.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2º Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984, 194p.

GUZZETTI, F. **Landslide hazard and risk assessment**. 399 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) - Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität, University of Bonn. Bonn, 2006.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia** – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009.182 p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Banco de dados de escorregamentos**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/1190-vitimas_de_deslizamentos.htm> Acesso em: 05 dez. 2017.

JAPIASSÚ, L. A. T. **Expansão urbana de Maceió, Alagoas: caracterização do processo de crescimento territorial urbano em face do Plano de Desenvolvimento de 1980 a 2000**. 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

LIMA, I. F. **Maceió a cidade restinga: contribuição ao estudo geomorfológico do litoral alagoano**. Maceió - AL: EDUFAL, 1990.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Análise de condicionantes topográficos como subsídio para avaliação de áreas de risco a escorregamentos rasos. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. 2010.

LISTO, F. L. R. **Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LISTO, F.L.R.; VIEIRA, B.C. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, v. 169-170, p. 30-44, 2012.

MACEIÓ. **Lei Municipal N° 4.687, de 08 de janeiro de 1998**. Dispõe sobre o perímetro urbano de Maceió, suprime a divisão distrital e institui abairramento. In: Diário Oficial do Município de Maceió, Maceió, 09 jan. 1998.

_____. **Plano Municipal de Redução de Risco**. Maceió: Prefeitura Municipal, 2007.

_____. **Lei municipal n. 5.593, de 08 de fevereiro de 2007**. Institui o código de urbanismo e edificações do município de Maceió, estabelece o zoneamento da cidade. Disponível em: <http://www.serveal.al.gov.br/legislacao/codigos/Lei%20n%205.593_2007_Edif%20e%20Urb_Mcz.doc/view> Acesso em: 10 jan. 2017.

MARTINS, T.D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C. Mapeamento de cicatrizes de escorregamentos utilizando imagem multiespectral. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 96-109, 2015.

MENEZES JÚNIOR, E. M. **Análise geomorfológica da suscetibilidade a deslizamentos na folha Paulista (1:25.000) – Região Metropolitana do Recife**. 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, **Anais...** CL00132, Rio de Janeiro.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira Meteorologia**, 17(1)1-10, 2002.

PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana de Recife. In: **15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental**. 2015.

REIS, S.; *et al.* Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 7, p. 2063-2073, 2012.

REIS, F. A. G. V. **Curso de Geologia Ambiental via Internet**. UNESP, 2001. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/inicio/pag02.html> > Acesso em: 13 nov. 2016.

RODRIGUES, B. T.; CALHEIROS, S. Q. C.; DE MELO, N. A. Potencial de movimento de massa no município de Maceió-Alagoas. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 24, p. 207-227, jan/jun. 2013.

RODRIGUES, S. C.; BRITO, J. L. S. Mapeamento geomorfológico de detalhe - uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em geoprocessamento. **Revista Caminhos da Geografia** 1(1) 1-6, set/2000.

ROMÃO, V.; SANTOS, A. F. V.; BADIRU, A. I. Ocupação de Maceió traçada desde o Porto de Jaraguá até o Plano Diretor. In: 4º GeoAlagoas, 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio, 2016. v. 4. p. 1-14.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial 30 Anos (2012), p. 38-51.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva.

SAATY, T. L. Relative measurement and Its generalization in decision making why Pairwise comparisons are Central in mathematics for the measurement of intangible factors the Analytic Hierarchy/Network Process. **Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. - RACSM**, v.102, n. 2, p.251–318, 2008.

SELBY, M. J. **Hillslope: materials & processes**, New York, 1993.

SEMPMA - Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente de Maceió. **Sempma interdita obra de contenção após deslizamento**. 2015. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/2015/06/>> Acesso em: 04 jan. 2018

SILVA, D. G. **Evolução Paleoambiental dos depósitos de tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco.** 2007. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; SILVA, F. B.; PEREIRA, D. C. A. Uso de Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico - AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o operador Fuzzy Média Ponderada AHP: o caso da bacia hidrográfica do Rio Anil em São Luís - MA. **Revista de Geografia**, v. 3, p. 1-7, 2013.

SOUZA, J. L.; *et. al.* Características pluviométricas representativas do tabuleiro costeiro de Alagoas, período 1972-1996. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1998, Brasília, **Anais...** Brasília, 1998, p.1-5.

TORRES, F. S. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca – PE.** 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, 2004. p. 1-29.

VALERIANO, M.M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n 1, p. 17-29, 2003.

VAN WESTEN, C. J. (1993). **Application of Geographic Information System to Landslide Hazard Zonation.** ITC Publication. Enscheda. The Netherlands. 245 p.

VAN WESTEN, C.J., CASTELLANOS, E. & KURIAKOSE, S.L. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. **Engineering Geology**, 102: 112–131.

VARNES, D.J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.** UNESCO; Paris, 1984, 63 p.

VEDOVELLO, R.; MACEDO, E. S. Deslizamentos de encostas. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007, 192p.

APÊNDICE A - MATRIZ DE DECISÃO AHP (SUSCETIBILIDADE NATURAL)

Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade natural a escorregamentos no Litoral Norte de Maceió

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ESTRUTURAÇÃO DO AHP - SUSCETIBILIDADE NATURAL														
2															
3															
4	Critério	Geomorfológico	Geológico	Solos	Declividade	F. do Terreno									
5	Geomorfológico	1	1,00	1,00	1,00	1,00									
6	Geológico	1	1	1	0,25	1,00									
7	Solos	1	1	1	0,25	0,50									
8	Declividade	1	4	4	1	1									
9	F. Terreno	1	1	2	1	1									
10															
11	TOTALIZADOR	6	8	8	3,5	4,6									
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

Matriz de Normalização						TOTAL	MEDIA	Consistência Maxima
Critério	Geomorfológico	Geológico	Solos	Declividade	Curvatura			
Geomorfológico	0,20	0,11	0,11	0,23	0,22	0,344847618	0,39	6,256342004
Geológico	0,20	0,11	0,11	0,07	0,22	0,721718005	0,35	5,832344339
Solos	0,20	0,11	0,11	0,07	0,11	0,68950794	0,32	5,226006479
Declividade	0,20	0,50	0,44	0,23	0,22	1,652388952	0,33	5,474003401
F. do Terreno	0,20	0,11	0,22	0,23	0,22	1,05503773	0,21	5,324934186
						Ordem (n):	5	
						RI:	1,8	
						Índice:	0,294059258	
						CI:	0,873739564	
						CRI:	0,07	

OBS: O Pêso que precisamos para realizar a álgebra é a média da matriz de normalização

APÊNDICE B – MATRIZ DE DECISÃO AHP (SUSCETIBILIDADE INDUZIDA)

Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de suscetibilidade induzida a escorregamentos no Litoral Norte de Maceió

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ESTRUTURAÇÃO DO AHP - SUSCETIBILIDADE INDUZIDA														
2															
3															
4	Critério	Uso	Geológico	Solos	Destividade	Forma do Terreno	Geomorfológico								
5	Uso	1	0,60	1,00	0,33	1,00	1								
6	Geológico	2	1	1	0,33	0,60	1								
7	Solos	1	2	1	0,25	0,33	1								
8	Destividade	3	3	4	1	2	1								
9	Forma do Terreno	1	2	3	1	1	1								
10	Geomorfológico	1	1	1	1	1	1								
11	TOTALIZADOR	9	6,60	10,00	3,92	6,60	6,00								
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															

		TOTAL	MÉDIA	Consistência Máxima
16	Uso	0,68	0,11	6,5889928
17	Geológico	0,71	0,12	6,38187937
18	Solos	0,70	0,12	6,460903776
19	Destividade	1,79	0,30	6,743494417
20	Forma do Terreno	1,20	0,20	6,76299901
21	Geomorfológico	0,91	0,15	6,829838288
22	Ordem (n):	6		
23	PI:	1,25		
24	Apost:	6,562968743		
25	CI:	0,19331743		
26	CI:	0,09		

Obs: O Peso que precisamos para realizar a Álgebra é a média da matriz de normalização.