



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – GEOTECNIA**

RAÍSSA RATTES LIMA DE FREITAS

**MAPEAMENTO DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÃO EM
ÁREAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE MORENO-PE**

RECIFE

2016

Raíssa Rattes Lima de Freitas

Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Moreno-PE

Dissertação apresentada à Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Roberto Quental Coutinho

Recife

2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

F866m Freitas, Raíssa Rattes Lima de.

Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Moreno-PE /Raíssa Rattes Lima de Freitas. - 2016.

259 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências.

-351. Engenharia Civil. 2. Mapeamento de risco. 3. Vulnerabilidade.

4. Suscetibilidade. 5. Perigo. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**MAPEAMENTO DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÃO EM
ÁREAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE MORENO-PE**

defendido por

Raíssa Rattes Lima de Freitas

Considera a candidata APROVADA

Recife, 28 de Julho de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho - UFPE
(Orientador)

Prof. Dr. Mauricio Ehrlich -UFRJ
(Examinador externo)

Prof. Dr. Eduardo Soares de Macedo - IPT
(Examinador externo)

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais, irmãos, minha avó Terezinha e a Lucas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que se faz presente em todos os momentos da minha vida. Pela oportunidade concedida, por me guiar e me proteger em todas as etapas desse processo, especialmente me fazendo forte para superar as dificuldades encontradas.

Aos meus pais João Almir e Maria Auxiliadora, por sempre me apoiarem e sonharem junto comigo. Por toda a contribuição na minha formação pessoal e profissional e pela dedicação e amor incalculável.

Aos meus irmãos Thaís e João, meus companheiros de vida, por todo incentivo e amor.

Aos meus avós paternos, Terezinha e Alberto e aos avós maternos Giselda e Cipriano (*in memoriam*) por todo o suporte e afeto, que supera até mesmo a morte.

A Lucas por toda compreensão, respeito, apoio, amor e por não medir esforços para me fazer feliz. Aos meus sogros por todo o incentivo e carinho.

Aos meus tios, primos e toda a família pelo afeto e vibração positiva. Aos amigos que sempre torceram pelas minhas conquistas e por entenderem minhas ausências ao longo desse processo.

Ao Professor Roberto Quental Coutinho pela oportunidade, e contribuição no meu desenvolvimento acadêmico. Por toda a sua paciência e compressão, sempre com inúmeros ensinamentos. Levarei comigo todas as suas lições, meus sinceros agradecimentos. Abro espaço para um agradecimento a Doris, por todas as nossas conversas e afinidades, sempre regadas a sorrisos e conselhos.

A toda equipe GEGEP, que foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho pelo convívio, aprendizagem e amizade: Danisete, Bárbara, Rafael, Wesley, Hugo, Jéssica, Jefferson, Diego, Iran, Karla, Professor Saul, Amanda, Breno, Sandro, Betânea, Cristiane Barbosa, Cristiana Duarte, Daniela, Claudinha, Monalisa, Natan, Professor Robson, Professor Ricardo, Francisco, Everaldo, Eduardo, Professora Rosinha e Professora Marlene.

Aos estagiários cedidos pelo município para o mapeamento, que realizaram as atividades de forma comprometida e empenhada, fosse chuva ou sol. Obrigada Diogenes, Wendresson e Wanderson por todo o esforço e pelos momentos de descontração.

À Prefeitura Municipal de Moreno, pelo apoio e a disponibilização de informações para a elaboração desta pesquisa.

À Coordenadoria de Defesa Civil do município, nos nomes de Marcondes e Denilson, por todo suporte, disponibilidade e colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Em especial a toda a população de Moreno que sempre foi receptiva e contribuiu de forma significativa para o bom desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa, a qual foi imprescindível para o desenvolvimento e conclusão dessa pesquisa.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste sonho.

RESUMO

O crescimento do número de desastres naturais em todo território nacional nos últimos anos, conduziram o Brasil a adotar uma nova postura diante das políticas de gestão de risco. Sob essa ótica, foi publicada a Lei federal Nº 12.608/12, que estabelece diretrizes voltadas à gestão e redução dos riscos de desastres naturais no país, com destaque para as ações preventivas, como o mapeamento das áreas de riscos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar o mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação de áreas ocupadas do município de Moreno-PE. Esta pesquisa faz parte de um convênio entre o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (MI/SEDEC), com a Universidade Federal de Pernambuco/Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies e Desastres (UFPE/GEGEP), visando mapear e desenvolver metodologia de avaliação da vulnerabilidade e do risco em áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações, em Pernambuco. O município de Moreno encontra-se inserido na Região Metropolitana do Recife, com área de 191,3 km² e população de 56.696 habitantes. Constituído geomorfologicamente por colinas íngremes e planícies de inundação, o modo de ocupação se deu de forma desordenada nessas regiões, contribuindo para ocorrência e predisposição de processos relacionados a deslizamentos, erosão, queda de blocos e inundação. Foi avaliada a situação de risco de 11 setores, distribuídos pela cidade a partir de fatores associados à vulnerabilidade e suscetibilidade, correspondendo a uma área de 1,57 km² analisada. O mapeamento foi realizado, com base em metodologia elaborada pelo grupo GEGEP/UFPE, com referência em experiências de mapeamentos passados. A análise da vulnerabilidade foi concebida através da construção de indicadores associados a duas dimensões: físico-ambiental e socioeconômica cultural. A suscetibilidade/perigo foi analisada através de duas metodologias, uma específica para movimento de massa e uma para inundação. O risco final foi obtido por meio de matriz que correlaciona o grau final da vulnerabilidade e da suscetibilidade/perigo. Além disto, o trabalho aborda considerações sobre a vulnerabilidade institucional e potencial de resiliência das comunidades estudadas. Os setores foram divididos em 70 subsetores (20 associados a processos de inundação e 50 a movimento de massa) o grau de risco foi definido sobre estas unidades territoriais. Os resultados encontrados foram: 11 áreas de risco alto e 9 de risco médio em regiões suscetíveis a inundações. Nas regiões sujeitas a movimento de massa: 8 subsetores apresentaram grau de risco muito alto, 25 de risco alto, 16 de risco médio e 1 de risco baixo. A metodologia adotada representou bem as condições de campo.

Palavras-chave: Mapeamento de risco. Vulnerabilidade. Suscetibilidade. Perigo.

ABSTRACT

The growth of natural disasters in the national territory in the last few years has led Brazil to adopt a new attitude in face of the risk management policies. Under this perspective, a Federal Law was published (Lei Federal Nº 12.608/12), establishing guidelines targeted to management and natural disasters risk decrease in the country, highlighting preventive actions such as mapping risk areas. In this context, the goal of this work is to present the risk mapping to mass movements and flooding of occupied areas in the municipality of Moreno-PE. This research is part of an agreement between the National Integration Ministry/Civil Defense National Secretariat (MI/SEDEC) with The Federal University of Pernambuco/Geotechnical Engineering Group of Slopes and Plains and Disasters (UFPE/GEGEP), aiming to map and develop a vulnerability and risk evaluation method in susceptible areas to landslide and floods in Pernambuco. The municipality of Moreno is located in Recife's Metropolitan Area, with 191,3 km² and a population of 56.696 inhabitants. Its geomorphological constitution consists of steep slopes and flood plains, also these regions were populated in a non-planned way, which has contributed to the occurrence of and predisposal to processes related to landslide, erosion, rockfall and flooding. The risk situation of 11 sectors was evaluated, distributed through the city from factors related to vulnerability and susceptibility, corresponding to an analyzed area of 1,57 km². The mapping was done, based in the methodology created by the GEGEP/UFPE group, referring to experiences in past mappings. The vulnerability analysis was planned through the development of indicators associated to two dimensions: physical-environmental and cultural socioeconomics. The susceptibility/hazard was analysed by two methods, one to specify to mass movement and one for flooding. The final risk was obtained through a matrix that correlates the final degree of vulnerability and susceptibility/hazard. In addition, this work discusses considerations about the institutional vulnerability and the resilience's potential of the analysed communities. The sectors were divided in 70 subsectors (20 associated to flooding processes and 50 to mass movement), and the risk degree was defined under these territorial units. The results found were: 11 high-risk areas and 9 medium-risk areas in regions susceptible to flooding. In the areas susceptible to mass movements: 8 subsectors present very high-risk degrees, 25 high-risk, 16 medium-risk and 1 low-risk. The adopted methodology represented well the field conditions.

Keywords: Risk mapping. Vulnerability. Susceptibility. Hazard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1 - Gráficos de mortes por deslizamentos por estados entre 1988 e abril de 2015..... | 28 |
| Figura 2.2 - Diagrama dos processos dos fatores de causas preparatórias e acionantes dos deslizamentos..... | 39 |
| Figura 2.3 - Mecanismo do processo erosivo em um terreno com sulcos..... | 48 |
| Figura 2.4 - Erosão hídrica pluvial..... | 49 |
| Figura 2.5 - Combinação das classes de curvatura vertical e horizontal..... | 52 |
| Figura 3.1 - Esquema de uma situação normal, enchente, inundação e alagamento em uma cidade..... | 57 |
| Figura 4.1 - Gráfico de distribuição de mortes por deslizamento no decorrer dos anos, entre 1988 e abril de 2015..... | 68 |
| Figura 4.2 - Relação dos 10 municípios que apresentaram maior número de óbitos entre 1988 e abril de 2015..... | 69 |
| Figura 4.3 - Definição de risco..... | 77 |
| Figura 4.4 - Divisão das faixas de grau de risco..... | 86 |
| Figura 4.5 - Roteiro metodológico para análise e mapeamento de risco..... | 88 |
| Figura 4.6 - Fluxograma da metodologia utilizada pela UFRJ..... | 90 |
| Figura 4.7- Medidas de atuação em relação a áreas de risco..... | 96 |
| Figura 5.1 - Fluxograma da metodologia de mapeamento e avaliação de risco de deslizamentos e inundações..... | 108 |
| Figura 5.2 - Reunião de apresentação do projeto com gestores do município de Moreno..... | 109 |
| Figuras 5.3 e 5.4 - Visitas de reconhecimento da pedologia e geologia nos setores de risco em Moreno..... | 110 |
| Figura 5.5 - Exemplo de delimitação de setores e subsetores no município de Moreno..... | 112 |
| Figuras 5.6 e 5.7 - Exemplo de residências representativas nas áreas estudadas do município..... | 113 |
| Figura 5.8 - Exemplo de elemento de interesse: Hospital Memorial Armindo Moura..... | 114 |
| Figura 5.9 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de vulnerabilidade Físico-ambiental, pág. 1..... | 118 |
| Figura 5.10 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de suscetibilidade para processo de movimento de massa, pág. 1..... | 122 |
| Figura 5.11 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de suscetibilidade para processo de inundação, pág. 1..... | 129 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.1 - Localização do Município de Moreno..... | 134 |
| Figura 6.2 - População anual do município de Moreno entre 1991 e 2010..... | 135 |
| Figura 6.3 - Unidades Geoambientais do município de Moreno..... | 137 |
| Figura 6.4 - Grupo de bacias de pequenos rios litorâneos do Estado de Pernambuco..... | 138 |
| Figura 6.5 - Classes de solos do município de Moreno..... | 141 |
| Figura 6.6 - Formação geológica do município de Moreno..... | 142 |
| Figura 6.7- Fazenda Santa Beatriz do Carnijó situada no município de Moreno..... | 144 |
| Figura 6.8 - Mapa de localização dos setores de risco e delimitação territorial do município de Moreno..... | 145 |
| Figura 6.9 - Exemplo de rochas fraturadas encontradas nos setores de risco..... | 146 |
| Figura 6.10 - Disposição dos minerais que compõem a rocha..... | 147 |
| Figura 6.11 - Afloramento com presença de veios de quartzo..... | 147 |
| Figura 6.12 - Exemplo de modelamento das bordas das rochas..... | 148 |
| Figura 6.13 - Presença de rochas soltas nos setores estudados..... | 149 |
| Figura 6.14 - Direções preferenciais das águas coincide com as direções preferenciais de fratura da rocha..... | 149 |
| Figura 6.15 - Exemplo de gnaiss migmatizado..... | 150 |
| Figura 6.16 - Geomorfologia dos setores de risco..... | 153 |
| Figura 6.17 - Neossolo Flúvico identificado nos setores 1,2 e 3..... | 155 |
| Figuras 6.18, 6.19 e 6.20 - Perfis de Argissolo Amarelo identificados nos setores estudados.. | 156 |
| Figura 6.21 e 6.22 - Argissolo Vermelho-Amarelo identificado nos setores de risco..... | 157 |
| Figura 6.23 - Latossolo Amarelo identificado nas áreas de estudo..... | 158 |
| Figura 6.24 - Vista geral de localização da retirada dos blocos..... | 160 |
| Figura 6.25 - Bloco retirado na base da encosta..... | 160 |
| Figura 6.26 - Bloco retirado no topo da encosta..... | 161 |
| Figuras 6.27 e 6.28 - Destorroamento do solo e ensaio de sedimentação..... | 161 |
| Figura 6.29 - Leitura do ensaio edométrico duplo..... | 163 |
| Figura 6.30 - Curva granulométrica do solo – Bloco 1..... | 163 |
| Figura 6.31- Curva granulométrica do solo – Bloco 2..... | 164 |
| Figura 6.32 (A) - Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra natural); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto..... | 168 |
| Figura 6.33 (A) - Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra saturada); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto..... | 169 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.34 (A) - Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra natural); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto..... | 170 |
| Figura 6.35 (A) - Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra saturada); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto..... | 171 |
| Figura 6.36 - Comparação entre amostra inundada e na umidade natural – Bloco 1..... | 174 |
| Figura 6.37 - Comparação entre amostra inundada e na umidade natural – Bloco 2..... | 174 |
| Figura 6.38 - Colapso x tensão vertical efetiva..... | 176 |
| Figura 7.1 - Mapa de localização dos setores e subsetores de inundação e movimento de massa do município..... | 179 |
| Figuras 7.2 e 7.3 - Ilustram processos relacionados a escorregamentos e erosão nos subsetores..... | 180 |
| Figuras 7.4 e 7.5 - Ilustra a localização de blocos próximos às moradias e processo de inundação..... | 181 |
| Figura 7.6 - Área expandida do setor 10 para avaliação da metodologia..... | 182 |
| Figuras 7.7 e 7.8 - Grau de vulnerabilidade muito alto (subsetor 0816) e baixo (subsetor 0303) para o indicador quantidade de edificações..... | 185 |
| Figuras 7.9 - Ocupação gradual da encosta do setor 4 (subsetor 0401)..... | 186 |
| Figuras 7.10, 7.11 e 7.12 - Casa de taipa localizada no subsetor 1004 e casas de alvenaria representando o padrão construtivo presente na maioria dos subsetores..... | 187 |
| Figuras 7.13, 7.14 e 7.15 - Sinais de danos identificados em casas de alguns subsetores..... | 187 |
| Figuras 7.16,7.17, 7.18 e 7.19 - Acessos precários localizados nos subsetores 0601, 1002,1004 e acesso regular no 0813..... | 188 |
| Figura 7.20 e 7.21 - Lançamento de lixo (subsetor 1008) e água servida (subsetor 1001) na encosta..... | 189 |
| Figuras 7.22 e 7.23 - Exemplos de vias de acesso aos subsetores..... | 190 |
| Figuras 7.24 e 7.25 - Edificações próximas ao pé do talude no subsetor 0704 e ao curso d' água no subsetor 0203..... | 191 |
| Figura 7.26 - Mapa de localização dos elementos de interesse do município de Moreno..... | 199 |
| Figura 7.27 - Mapa de vulnerabilidade à inundação do município de Moreno..... | 202 |
| Figura 7.28 - Mapa de vulnerabilidade a movimento de massa do município de Moreno..... | 203 |
| Figuras 7.29, 7.30 e 7.31 - Características do indicador geológico-geotécnico observadas nos subsetores, tais como: árvores inclinadas, Argissolo Vermelho-Amarelo e aspectos da geologia..... | 208 |
| Figura 7.32 - Subsetor 0906 com grau de suscetibilidade alto ao indicador geomorfológico.. | 210 |

| | |
|--|-----|
| Figura 7.33 e 7.34 - Área de ocupação em estágio de consolidação no subsetor 0705 e presença de bananeiras na encosta..... | 213 |
| Figura 7.35 e 7.36 - Estrutura de contenção que desabou e talude exposto..... | 213 |
| Figura 7.37 - Mapa de suscetibilidade a movimento de massa do município de Moreno..... | 216 |
| Figura 7.38 - Imagem da cidade na inundação de 2005..... | 218 |
| Figura 7.39 - Casa destruída pela inundação de 2005 e permanece na área até os dias atuais.. | 218 |
| Figura 7.40 - Mapa de suscetibilidade à inundação do município de Moreno elaborado a partir do método I..... | 221 |
| Figura 7.41 - Mapa de suscetibilidade à inundação do município de Moreno elaborado a partir do método II..... | 222 |
| Figura 7.42 - Mapa de risco à inundação do município de Moreno..... | 227 |
| Figura 7.43 - Mapa de risco a movimento de massa do município de Moreno..... | 230 |
| Figura 7.44 - Mapa de proposta de obras de intervenção para os setores 5,9 e 10..... | 236 |
| Figura 7.45 - Representação de como os entrevistados consideram o relacionamento entre as pessoas da comunidade..... | 238 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.1 - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE..... | 65 |
| Tabela 4.2 - Graus de risco finais para o município de Recife..... | 85 |
| Tabela 5.1 - Exemplo de indicador, seus subindicadores e respectivos graus e pesos..... | 119 |
| Tabela 5.2 - Representação das classes para classificação do grau final de vulnerabilidade.... | 121 |
| Tabela 5.3 - Exemplo de indicador, seus subindicadores e respectivos graus e pesos..... | 125 |
| Tabela 5.4 - Representação das classes para classificação do grau final de suscetibilidade para movimento de massa..... | 127 |
| Tabela 5.5 - Representação das alturas para classificação do grau final de suscetibilidade a inundação..... | 130 |
| Tabela 6.1 - Médias históricas mensais de precipitação em Moreno entre 1980 a 2014..... | 136 |
| Tabela 6.2 - Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo – Blocos..... | 165 |
| Tabela 6.3 - PERFIL SETOR 10: Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo..... | 165 |
| Tabela 6.4 - PERFIL SETOR 7: Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo..... | 166 |
| Tabela 6.5 - PERFIL SETOR 9: Composição granulométrica do solo, limite de consistência e classificação do solo..... | 166 |
| Tabela 6.6 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento..... | 172 |
| Tabela 6.7 - Resumo dos resultados do ensaio edométrico duplo – Bloco 1..... | 173 |
| Tabela 6.8 - Resumo dos resultados do ensaio edométrico duplo – Bloco 2..... | 173 |
| Tabela 6.9 - Resultados da colapsibilidade do solo segundo Reginatto e Ferrero (1973)..... | 176 |
| Tabela 6. 10 - Classificação da colapsibilidade Jennings e Knigth (1975)..... | 177 |
| Tabela 6. 11 - Classificação da colapsibilidade de acordo com Jennings e Knigth (1975)..... | 177 |
| Tabela 7.1 - Informações dos setores estudados e seus processos atuantes..... | 180 |
| Tabela 7.2 - Vulnerabilidade físico-ambiental: indicadores e pesos atribuídos..... | 183 |
| Tabela 7.3 - Grau de vulnerabilidade da dimensão físico-ambiental por subsetor..... | 184 |
| Tabela 7.4 - Vulnerabilidade socioeconômica e cultural: indicadores e pesos atribuídos..... | 192 |
| Tabela 7.5 - Grau de vulnerabilidade da dimensão socioeconômica e cultural por subsetor..... | 193 |
| Tabela 7.6 – Grau de vulnerabilidade final por subsetor..... | 201 |
| Tabela 7.7 – Suscetibilidade a movimento de massa: indicadores e pesos atribuídos..... | 205 |
| Tabela 7.8 – Grau de suscetibilidade do indicador geológico-geotécnico..... | 206 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 7.9 - Grau de suscetibilidade do indicador geomorfológico..... | 209 |
| Tabela 7.10 - Grau de suscetibilidade do indicador uso e ocupação do solo..... | 211 |
| Tabela 7.11 - Grau de suscetibilidade final para processos de movimento de massa..... | 214 |
| Tabela 7.12 - Grau de suscetibilidade à inundação pelo método I..... | 219 |
| Tabela 7.13 - Grau de suscetibilidade à inundação pelo método II..... | 219 |
| Tabela 7.14 - Grau de risco à inundação obtido pela correlação entre o grau de vulnerabilidade e o grau de suscetibilidade utilizando o método I..... | 223 |
| Tabela 7.15 - Grau de risco à inundação obtido pela correlação entre o grau de vulnerabilidade e o grau de suscetibilidade utilizando o método II..... | 224 |
| Tabela 7.16 - Grau de risco a movimento de massa..... | 225 |
| Tabela 7.17 - Número de entrevistados que foram vítimas ou conhecem alguém próximo que foi vítima de movimento de massa e/ou inundação..... | 241 |
| Tabela 7.18 - Nível de segurança sentido pelos entrevistados diante das situações hipotéticas de risco alto e muito alto..... | 242 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 2.1 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa..... | 30 |
| Quadro 2.2 - Glossário para classificação de deslizamentos..... | 30 |
| Quadro 2.3 - Características dos principais grupos de processos de instabilização..... | 31 |
| Quadro 2.4 - Inventário de causas de movimentos de massa..... | 38 |
| Quadro 2.5 - Fatores deflagradores dos movimentos de massa..... | 40 |
| Quadro 3.1 - Tipos de inundações e suas causas no Planeta..... | 56 |
| Quadro 4.1 - Classificação dos desastres em relação à intensidade..... | 64 |
| Quadro 4.2 - Fatores e Atributos de Risco adotados em Camaragibe..... | 85 |
| Quadro 4.3 - Critérios para a determinação dos graus de risco..... | 89 |
| Quadro 4.4 - Matriz de risco segundo arranjo entre probabilidade de ocorrência do processo e sua gravidade..... | 95 |
| Quadro 4.5 - Tipos de obras sem estrutura de contenção para estabilização de encostas..... | 97 |
| Quadro 4.6 - Tipos de obras com estrutura de contenção para estabilização de encostas..... | 98 |
| Quadro 5.1– Definição dos fatores de vulnerabilidade físico-ambiental e socioeconômico cultural..... | 117 |
| Quadro 5.2 – Indicadores e subindicadores de suscetibilidade a movimento de massa..... | 123 |
| Quadro 5.3 – Matriz de correlação entre capacidade de carga e velocidade de elevação da água..... | 131 |
| Quadro 5.4 – Matriz de correlação para obtenção do grau de suscetibilidade a inundação..... | 131 |
| Quadro 5.5 – Matriz para análise e determinação do grau de risco conforme o arranjo entre a suscetibilidade e a vulnerabilidade..... | 132 |
| Quadro 6.1 – Descrição geomorfológica dos setores de risco do município..... | 151 |
| Quadro 7.1 – Alguns elementos de interesse do município de Moreno..... | 198 |
| Quadro 7.2 – Matriz para análise e determinação do grau de risco conforme o arranjo entre a suscetibilidade e a vulnerabilidade..... | 223 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABGE** - Associação Brasileira de Geologia da Engenharia e Ambiental
- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AGS** - Australian Geomechanics Society
- AMUPE** – Associação Municipalista de Pernambuco
- As'** - Clima tropical (chuvas de outono/inverno)
- CEPED** - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
- CONPDEC** - Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
- CONDEP / FIDEM** – Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
- CP**- Corpo de Prova
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ECP**- Estado de Calamidade Pública
- GEGEP** - Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres
- HFA** - Hyogo Framework Action
- IA** - Índice de Atividade da Argila
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDHM** - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- IDNDR** - International Decade for Natural Disaster Reduction
- ISDR** - International Strategy for Disaster Reduction
- IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- IP** - Índice de plasticidade (%)
- ISRM** - International Society for Rock Mechanics
- ISSMGE** - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
- JTC** - Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes
- LL** - Limite de liquidez (%)
- LP** - Limite de plasticidade (%)
- MI** - Ministério da Integração Nacional
- NUDECs** - Núcleo Comunitário de Defesa Civil
- PIB** - Produto Interno Bruto
- PMRR**- Plano Municipal de Redução de Risco
- PNPDEC** - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
- RMR** - Região Metropolitana do Recife

SDH/PR - Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República

SE - Situação de Emergência

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil

SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SRHE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos

SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UNDRO - Office of the United Nations Disasters Relief Co-Ordinator

UNISDR - The United Nations Office for Disaster Risk Reduction

USGS - United States Geological Survey

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO..... | 23 |
| 1.1 - Objetivos | 25 |
| 1.1.1 - Objetivo Geral | 25 |
| 1.1.2 - Objetivos Específicos | 25 |
| 1.2 - Estrutura da Dissertação..... | 26 |
| MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA | 27 |
| 2.1. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA..... | 27 |
| 2.1.1 - Tipos de movimentos e suas características..... | 32 |
| 2.1.2 - Condicionantes dos processos de movimentos de massa..... | 37 |
| 2.1.2.1 - Condicionantes geológicos e pedológicos..... | 40 |
| 2.1.2.2 - Condicionantes geomorfológicos..... | 41 |
| 2.1.2.3 - Condicionantes climáticos e pluviométricos..... | 42 |
| 2.1.2.4 - Remoção da cobertura vegetal | 43 |
| 2.1.2.5 - Ação antrópica..... | 44 |
| 2.2. - PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA | 45 |
| 2.2.1 - Erosão hídrica pluvial..... | 46 |
| 2.2.1.1 - Erosão laminar (Erosão entre sulcos ou em lençol) | 47 |
| 2.2.1.2 - Erosão linear (Erosão em sulcos) | 47 |
| 2.2.1.3 - Erosão interna (piping)..... | 49 |
| 2.2.2 - Fatores condicionantes da erosão | 49 |
| 2.2.2.1 - Chuva | 50 |
| 2.2.2.2 - Cobertura vegetal | 50 |
| 2.2.2.3 - Topografia | 51 |
| 2.2.2.4 - Geologia e propriedades do solo | 52 |
| 2.2.2.5 - Ação antrópica..... | 53 |

| | |
|--|----|
| INUNDAÇÃO | 54 |
| 3.1 - ASPECTOS CONCEITUAIS | 54 |
| 3.1.1 - Enchente | 55 |
| 3.1.2 - Inundação | 55 |
| 3.1.3 - Planície de inundação..... | 57 |
| 3.1.4 - Alagamento | 57 |
| 3.1.5 - Enxurrada | 58 |
| 3.1.6 - Vazão..... | 58 |
| 3.1.7- Área de risco de enchente e inundação | 58 |
| 3.1.8 - Erosão marginal..... | 58 |
| 3.1.9 - Solapamento..... | 59 |
| 3.2 - FATORES CONDICIONANTES DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES..... | 59 |
| 3.2.1 - Fatores naturais | 59 |
| 3.2.2 - Fatores antrópicos | 60 |
| DESASTRES E MAPEAMENTO DE RISCO | 62 |
| 4.1 - DESASTRES | 62 |
| 4.1. 1 - Desastres no Brasil..... | 66 |
| 4.2 - CONCEITOS GERAIS DE ANÁLISE DE RISCO E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO BRASILEIRAS..... | 71 |
| 4.2.1.1 - Aspectos Gerais sobre Vulnerabilidade | 77 |
| 4.2.1.2 - Aspectos Gerais sobre Resiliência | 79 |
| 4.2.2 - Metodologias para Elaboração do Mapeamento de Risco | 82 |
| 4.2.2.1 - Metodologia de Gusmão Filho et al (1992) para elaboração de mapa de risco de erosão e escorregamento - UFPE..... | 83 |
| 4.2.2.2 - Metodologia adotada na realização do Mapa de Risco de erosão e escorregamento no município de Camaragibe – Experiência GEGEP/UFPE | 85 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.2.3 - Metodologia de avaliação e Mapeamento de áreas de Risco – Ministério das Cidades/IPT | 87 |
| 4.2.2.4 - Mapeamento (escala 1:5.000) de áreas de riscos, frente aos deslizamentos de encostas no município de Angra dos Reis, RJ - UFRJ..... | 90 |
| 4.2.2.5 - Mapeamento e análise de áreas de risco de enchentes e inundações em áreas urbanas – Ministério das Cidades/ IPT | 92 |
| 4.2.2.6 - Métodos e técnicas de identificação e análise de áreas de risco de enchentes e inundações – IPT | 93 |
| 4.3 - Gerenciamento de áreas de risco: medidas estruturais e não estruturais..... | 96 |
| 4.3.1 - Medidas estruturais | 96 |
| 4.3.1.1 - Obras sem estrutura de contenção | 98 |
| 4.3.1.2 - Obras com estrutura de contenção | 101 |
| 4.3.1.3 - Obras de proteção para massas movimentadas | 104 |
| 4.3.1.4 - Obras estruturais relacionadas a enchentes e inundações | 104 |
| 4.3.2 - Medidas não estruturais..... | 105 |
| METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE, SUSCETIBILIDADE/PERIGO E DO RISCO..... | 107 |
| 5.1- INTRODUÇÃO | 107 |
| 5.2- ETAPAS DA METODOLOGIA | 108 |
| 5.3 - METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTO DE MASSA | 116 |
| 5.3.1-Metodologia para a análise da vulnerabilidade em áreas de movimento de massa | 116 |
| 5.3.2 - Determinação do grau de vulnerabilidade..... | 119 |
| 5.3.3 - Metodologia para a análise da suscetibilidade em áreas de movimento de massa | 121 |
| 5.2.4 - Determinação do grau de suscetibilidade aos processos de movimento de massa | 125 |
| 5.4 - Metodologia para a análise da vulnerabilidade e perigo em áreas suscetíveis a inundação | 127 |
| 5.5 - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE RISCO..... | 131 |

| | |
|---|-----|
| CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MORENO | 133 |
| 6.1 - História do município..... | 133 |
| 6.2 - Localização e aspectos socioeconômicos do município de Moreno | 133 |
| 6.3 - Características físicas do município | 136 |
| 6.3.1 - Aspectos Climáticos..... | 136 |
| 6.3.2 - Unidades Geoambientais..... | 136 |
| 6.3.3 - Hidrografia | 137 |
| 6.3.4 - Solos | 139 |
| 6.3.5 - Geologia | 142 |
| 6.3.6 - Vegetação | 143 |
| 6.4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 144 |
| 6.4.1 - Caracterização geológica..... | 146 |
| 6.4.2 - Caracterização Geomorfológica | 151 |
| 6.4.3 - Caracterização Pedológica | 154 |
| 6.4.4 - Caracterização Geotécnica | 158 |
| 6.4.4.1- Coleta da amostra | 159 |
| 6.4.4.2 - Ensaio de caracterização..... | 161 |
| 6.4.4.3 - Ensaio de Cisalhamento Direto | 162 |
| 6.4.4.4 - Ensaio edométrico duplo..... | 162 |
| 6.4.4.5 – Resultados da Análise Granulométrica..... | 163 |
| 6.4.4.6 - Resultados de Resistência ao Cisalhamento..... | 167 |
| 6.4.4.7- Resultados do Ensaio Edométrico Duplo..... | 173 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 178 |
| 7.1 - Considerações iniciais sobre a análise dos resultados..... | 178 |
| 7.2 - ANÁLISES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE | 182 |
| 7.2.1 - Dimensão físico-ambiental..... | 183 |

| | |
|--|-----|
| 7.2.2 - Dimensão socioeconômica e cultural | 191 |
| 7.2.3 - Grau de Vulnerabilidade Final | 200 |
| 7.3 - ANÁLISE DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE E PERIGO | 205 |
| 7.3.1 - Suscetibilidade a processos de movimento de massa..... | 205 |
| 7.3.2 - Grau de suscetibilidade final para movimento de massa | 214 |
| 7.3.3 - Determinação de perigo para processos de inundação..... | 217 |
| 7.4 - GRAU DE RISCO | 223 |
| 7.4.1 - Grau de Risco à Inundação..... | 226 |
| 7.4.2 - Grau de Risco a Movimento de Massa..... | 228 |
| 7.5 - Avaliação da vulnerabilidade institucional do município de Moreno..... | 231 |
| 7.6 - Intervenções para redução do risco | 233 |
| 7.7 - Potencial de resiliência das comunidades | 237 |
| CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS | 245 |
| 8.1 - Conclusões | 245 |
| 8.2 - Sugestões para próximos trabalhos | 248 |
| REFERÊNCIAS | 249 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Desastres naturais têm ocorrido com maior frequência e intensidade em grande parte das regiões densamente povoadas do planeta. Somam-se aos eventos de natureza geológica e hidrometeorológica as intervenções antrópicas que podem acarretar ou potencializar a consequência de impactos em áreas de risco, surpreendendo, até mesmo, países bem preparados e com políticas consolidadas para agir frente aos desastres. Dessa forma, a necessidade de se compreender os fenômenos naturais quanto a sua ocorrência, seus mecanismos e sua dinâmica é fundamental para proposição de medidas preventivas e corretivas (MOURA e CANIL, 2016).

No Brasil o processo de urbanização foi intensificado em meados da década de 1950, em praticamente todo território não foram adotadas políticas de planejamento urbano, acarretando no surgimento e expansão de assentamentos sem infraestrutura adequada, ocupando áreas de altas declividades e próximas a margens de córregos e rios, gerando um quadro urbano sujeito principalmente, a deslizamentos de encostas e inundações, colocando a população residente nestas áreas em situação de perigo.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013) no período de 1991 a 2012 os episódios de inundações severas totalizaram 4.691 registros oficiais, representando 12% do total de ocorrências de desastres no Brasil. A região nordeste aparece como segundo colocada entre as mais afetadas por esse tipo de processo, 25% dos registros. Desse montante o Estado de Pernambuco registrou 59 ocorrências para esse período. Em relação aos processos de movimento de massa, o Atlas contabiliza 699 registros oficiais no país durante o intervalo de tempo analisado, afetando de alguma forma em torno de 5 milhões e meio de pessoas, sendo considerado o segundo tipo de desastres que mais ocasiona mortes, 15,6% de acordo com Atlas.

Em janeiro de 2011, foi registrado na região serrana do Rio de Janeiro o maior desastre do país, resultando em aproximadamente 900 mortos e 350 desaparecidos, afetando diversos municípios do estado. Este desastre, bem como outros de menor intensidade ocorridos nos últimos dez anos, levaram o governo federal, à criação de novas instituições e à reformulação

das responsabilidades de outras instituições já existentes com o objetivo de prevenir, monitorar, articular entes federados e agir de forma imediata em caso de desastres (SILVA, 2015).

Em busca da minimização dos efeitos causados pelos desastres, foi criada a lei federal que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. A Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, é o instrumento de redução de risco de desastres, que impõe à União, aos Estados, ao Distrito Federal, e aos Municípios a responsabilidade na elaboração do mapeamento das áreas suscetíveis aos desastres, prevenção, realização do monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco, em articulação com a União e os Municípios, assim como a sua fiscalização.

A fim de atender as diretrizes da Lei 12.608/12, o Governo Federal criou o Programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres no ano de 2012. Neste programa destacam-se os esforços na prevenção de desastres. O Programa foi estruturado para identificação dos principais desastres que ocorrem no país. Segundo Bertone e Marinho (2013), os municípios críticos foram selecionados conforme a recorrência dos principais desastres, o número de pessoas desalojadas ou desabrigadas e o número de óbitos nos últimos 20 anos (entre 1991 e 2010), em cada município. Assim, chegou-se ao número de 821 municípios críticos sujeitos a desastres, que representam 94% das mortes registradas e 88% das pessoas afetadas. Desses, foi verificado, sem hierarquia, que 286 municípios são considerados mais críticos correspondente a 89% das mortes e 55% do total de pessoas desalojadas ou desabrigadas.

Dentro deste contexto, este trabalho faz parte de um dos produtos do projeto intitulado “Avaliação da vulnerabilidade e do risco em áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em Pernambuco” através de um convênio firmado entre o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (MI/SEDEC), e a Universidade Federal de Pernambuco/Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (UFPE/GEGEP), coordenado pelo Profº Dr. Roberto Quental Coutinho. Visa mapear e desenvolver metodologia de avaliação da vulnerabilidade e do risco em áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações, em Pernambuco. Dentre os municípios citados no referido convênio estão Abreu e Lima, Camaragibe, Ipojuca, Jaboatão dos Guararapes, Moreno e Recife (área piloto no bairro do Ibura). Moreno foi o município escolhido como área de pesquisa para essa dissertação, sendo aqui detalhadas suas características com foco à análise e mapeamento dos riscos identificados. O resultado desta pesquisa concede ferramentas futuras ao município para auxiliar na gestão e enfrentamento do risco.

O convênio firmado com o ministério, envolve o mapeamento das áreas de risco alto e muito alto indicadas pela CPRM. Porém para esta dissertação, afim de avaliar a metodologia de forma mais abrangente e não apenas dentro dessa faixa, uma área foi mapeada em sua amplitude, procurando compreender todos os níveis de risco.

O envolvimento de diversas instituições públicas, do meio acadêmico e da sociedade civil no projeto, mostra o empenho do Governo Federal no tocante à prevenção e à redução nos números de desastres no Brasil.

1.1 - Objetivos

Os objetivos que fundamentaram a elaboração desta pesquisa foram divididos em Objetivo Geral e Objetivos Específicos, sendo apresentados a seguir.

1.1.1 - Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia desenvolvida pelo GEGEP/UFPE e os resultados do mapeamento de risco (vulnerabilidade e suscetibilidade) a movimento de massa e inundação, em áreas estudadas no município de Moreno-PE.

1.1.2 - Objetivos Específicos

1. Aplicar a metodologia de análise de vulnerabilidade, suscetibilidade/perigo e risco desenvolvida pelo GEGEP/UFPE em áreas consideradas de risco alto e muito alto pela CPRM;
2. Expandir o mapeamento para avaliar o risco de uma área fora das regiões pré-setorizadas pela CPRM;
3. Realizar a caracterização geológica, geotécnica, pedológica e geomorfologia da área de estudo;
4. Elaborar os mapas de vulnerabilidade, suscetibilidade, perigo e risco a movimento de massa e inundação da área estudada;
5. Identificar e espacializar as estruturas capazes de dar suporte ao município em caso de desastres, podendo servir de abrigo e apoio à tomada de decisão (Mapa de elementos de Interesse);
6. Apresentar proposta de intervenção (medidas estruturais) em alguns setores;
7. Avaliação preliminar sobre a vulnerabilidade institucional do município;
8. Apresentar considerações sobre potencial de resiliência das comunidades, observadas na área de estudo.

1.2 - Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 8 capítulos, de acordo com a seguinte distribuição do conteúdo:

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO: Introduz o assunto escolhido para o desenvolvimento da pesquisa, contendo os objetivos a serem alcançados.

CAPÍTULO 2. MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA: Abrange a revisão bibliográfica, apresentando conceitos dos principais tipos de movimento de massa, bem como os seus fatores condicionantes.

CAPÍTULO 3. INUNDAÇÃO: Discorre sobre fatores relacionados a inundação, impactos e elementos condicionantes. Bem como, apresenta conceitos de outros processos ligados, tais como enchentes, alagamentos, etc.

CAPÍTULO 4. DESASTRES E MAPEAMENTO DE RISCO: Expõe um panorama de desastres no país nos últimos anos, apresenta os principais conceitos relacionados a risco, resume as principais metodologias de mapeamento de risco usadas no Brasil, e por fim retrata a importância do gerenciamento de áreas de risco, através de medidas estruturais e não estruturais.

CAPÍTULO 5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE, SUSCETIBILIDADE E DO RISCO: O capítulo apresenta a metodologia utilizada para o mapeamento de risco das áreas de estudo, envolvendo as etapas de escritório e campo.

CAPÍTULO 6. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO E DA ÁREA DE ESTUDO: Compreende os aspectos socioeconômicos e fisiográficos do Município de Moreno, apresentando de forma mais detalhada as características: geológicas, geotécnicas, pedológicas, geomorfológicas, das áreas de estudo.

CAPÍTULO 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO: Descreve e discute os resultados obtidos com o mapeamento de risco no desenvolvimento deste trabalho.

CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS: Apresenta as conclusões obtidas no trabalho, com sugestões para próximas pesquisas.

CAPÍTULO 2

MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA E PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA

Segundo Coutinho e Silva (2006) os movimentos de massa podem ser classificados em dois grupos: sendo o primeiro grupo referente aos movimentos de massa devido à ação da gravidade como, por exemplo, os escorregamentos de encostas, as quedas e tombamentos de blocos rochosos. E o segundo grupo os movimentos de massa causados por transporte (erosão) podendo ser dividida em erosão superficial e profunda. Assim, neste capítulo se apresenta o referencial teórico com aspectos relacionados a conceitos, que irão nortear o leitor a compreender terminologias de classificação dos tipos de movimento de massa, assim como fatores que podem desencadear a ocorrência dos mesmos, buscando relacionar a estudos da dinâmica das encostas, principalmente com aqueles que ocorrem em áreas urbanas e que provocam perdas e danos para as ocupações e a população.

2.1. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

O movimento gravitacional de massa consiste em um importante processo natural que atua na dinâmica das vertentes, fazendo parte da evolução geomorfológica em regiões serranas. No entanto, o crescimento da ocupação urbana indiscriminada em áreas desfavoráveis, sem o adequado planejamento do uso do solo e sem a adoção de técnicas adequadas de estabilização, dissemina a ocorrência de acidentes associados a estes processos, que muitas vezes atingem dimensões de desastres (TOMINAGA, 2007).

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013) o desastre que mais teve variação no país foi o movimento de massa onde na década de 1990 representava 4% de ocorrências, na década de 2000 cresceu significativamente para 96%, totalizando um aumento de 21,7 vezes.

Para Macedo e Mirandola (2016) os movimentos de massa são sem dúvida os processos geológicos induzidos, ou não, pela ocupação humana que mais causam mortes no Brasil. Mencionam que o banco de dados de mortes por deslizamentos no Brasil, organizado e mantido pelo IPT, apresentava 773 eventos catalogados em 243 municípios, em 18 estados, constituindo

um total de 3396 fatalidades entre 1988 e abril de 2015. Uma atualização desses dados até março de 2016, principalmente após um verão 2015-2016 bastante chuvoso no sul e sudeste do país, elevou o número de óbitos para 3469.

Macedo e Martins (2015) consultando o mesmo banco de dados, apontam Pernambuco entre os 8 estados com maior número de óbitos devido a deslizamentos. Conforme visualizado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Gráfico de mortes por deslizamentos por estados entre 1988 e abril de 2015.



Fonte: Macedo e Martins (2015).

O movimento gravitacional de massa é um termo geológico-geotécnico utilizado para explicar o processo de desprendimento de fragmentos de rocha e/ou solo das encostas. Ele pode ser causado por agentes exógenos ou endógenos. Entre os principais fatores naturais que contribuem para a geração de movimentos de massas nas encostas destacam-se a geometria e geomorfologia (morfologia do talude, zonas de convergência e divergência de fluxo de água, ocorrência de depósitos de tálus e colúvios), a duração e intensidade das precipitações pluviométricas, a geologia do material (fraturamentos, presença de minerais argilosos expansivos preenchendo as fraturas das rochas, etc.), geomecânicas (alterações do peso

específico do solo devido à saturação, perda de coesão, etc.), cobertura vegetal, ocupação do solo, sismos ou outras situações incomuns tais como rompimento de barragens (NUNES, 2008).

A classificação dos movimentos gravitacionais de massa tem grande importância, sob o ponto de vista da aplicação, pois gera a possibilidade de associar cada tipo de movimento a um conjunto de características (profundidade, material instabilizado, raio de alcance, poder destrutivo, etc.) que em conjunto com o entendimento dos condicionantes permite formular modelos para orientar a proposição de medidas preventivas e corretivas ABGE (1998 apud PAULA, 2011).

Porém, devido à complexidade dos processos envolvidos e à multiplicidade de ambientes de ocorrência, assim como dos diferentes enfoques dados por geólogos, engenheiros civis, mecanicistas, geomorfólogos, geógrafos e construtores, não há na prática um sistema classificador amplamente divulgado e aceito. Assim, existem várias classificações de movimentos de massa gravitacionais que são baseadas na cinemática do movimento, como considerações sobre a massa em movimento e o terreno estável, velocidade, direção e sequência dos deslocamentos; no tipo do material envolvido, levando em conta sua estruturação, textura e conteúdo de água; assim como pela geometria, definida pela forma e tamanho das massas mobilizadas. Outras classificações, entretanto, são estritamente de abrangência local, não aplicada a outras áreas (LOPES, 2006).

É possível localizar na literatura inúmeras referências de trabalhos que propuseram classificações de movimento de massa, destacando-se Sharpe (1938), Terzaghi (1950), Varnes (1958 e 1978), Hutchinson (1988) e Sassa (1989). Das classificações mais utilizadas internacionalmente, a de Varnes (1978) se destaca devido à simplicidade e ao fato de ser baseada nos tipos de movimento e de material transportado.

No Quadro 2.1, apresenta-se a versão da classificação que foi proposta por Cruden e Varnes (1996 apud COUTINHO e SILVA, 2006), referindo-se a uma revisão da classificação proposta por Varnes (1978), nesta classificação são descritos o tipo de movimento, o tipo do material e a atividade de um movimento de massa. Cruden e Varnes (1996) recomendam que a completa identificação de um deslizamento deve ser realizada na sequência apresentada no Quadro 2.2, onde são descritas as atividades (incluindo estados, distribuição e estilo) e a descrição dos movimentos (velocidade, teor de umidade, tipo de material e tipo do movimento).

Quadro 2.1- Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.

| TIPO DE MOVIMENTO | TIPO DE MATERIAL | | |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | ROCHA | SOLO | |
| | | PREDOMÍNIO DE GROSSO | PREDOMÍNIO DE FINO |
| Queda | Queda de rocha | Queda de detritos | Queda de solo |
| Tombamento | Tombamento de rocha | Tombamento de detritos | Tombamento de solo |
| Escorregamento | Escorregamento de rocha | Escorregamento em detritos | Escorregamento de solo |
| Expansões laterais | Expansões laterais de rocha | Expansões laterais de detritos | Expansões laterais de solo |
| Fluxo | Movimento lento /Corrida de rocha | Movimento lento /Corrida de detritos | Movimento lento /Corrida de solo |

Fonte: Cruden e Varnes (1996 apud Coutinho e Silva, 2006).

Quadro 2.2- Glossário para classificação de deslizamentos.

| ATIVIDADE | | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------|--------------------|
| ESTADO | DISTRIBUIÇÃO | | ESTILO |
| Ativo | Avançada | | Complexo |
| Reativado | Retrogressiva | | Composto |
| Suspenso | Dilatada | | Múltiplo |
| Inativo | Alargada | | Sucessivo |
| Adormecido | Confinada | | Simples |
| Abandonado | Diminuída | | |
| Estabilizado | Deslocada | | |
| Reliquiar | | | |
| DESCRIÇÃO DO PRIMEIRO MOVIMENTO | | | |
| VELOCIDADE | TEOR DE UMIDADE | MATERIAL | TIPO |
| Extremamente rápida (> 3 m/s) | Seco | Rocha | Queda |
| Muito rápida (3 m/s – 0,3 m/min) | Úmido | Solo | Tombamento |
| Rápida (0,3 m/min – 1,5 m/dia) | Molhado | Debris | Escorregamento |
| Moderada (1,5 m/dia – 1,5 m/mês) | Muito molhado | | Espalhamento |
| Lenta (1,5 m/mês – 1,5 m/ano) | | | Corrida/Escoamento |
| Muito lenta (1,5 m/ano – 60 mm/ano) | | | |
| Extremamente lenta (< 60 mm/ano) | | | |

Fonte: Cruden e Varnes (1996 apud Coutinho e Silva, 2006).

Dentre as classificações brasileiras, destacam-se as de Freire (1965), Guidicini & Nieble (1984), Augusto Filho (1992), IPT (1994). Segundo Lopes (2006) a classificação de Augusto

Filho (1992) reúne as principais características dos movimentos gravitacionais de massa, no âmbito da dinâmica ambiental brasileira, fundamenta sua classificação em estudos realizados na Serra do Mar. O Quadro 2.3 resume os principais pontos levantados pelo autor, relacionando os processos com as características de movimento, características dos materiais mobilizados e a geometria desses.

Quadro 2.3 - Características dos principais grupos de processos de instabilização.

| PROCESSOS | CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA |
|---|--|
| Rastejo ou Fluência (<i>CREEP</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos); - Velocidades de muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; - Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; - Geometria indefinida. |
| Escorregamentos (<i>SLIDES</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamento (externos); - Velocidades de médias (km/h) a altas (m/s); - Pequenos a grandes volumes de material; - Geometria e materiais variáveis; - Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; - Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; - Em cunha: solos/rochas com dois planos de fraqueza. |
| Quedas (<i>FALLS</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Sem planos de deslocamento; - Queda livre ou rolamento através de plano inclinado; - Velocidades muito altas (m/s); - Material rochoso; - Pequenos e médios volumes; - Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc; - Rolamento de matacão e tombamento. |
| Corridas (<i>FLAWS</i>) | <ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação); - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; - Desenvolvimento ao longo das drenagens; - Velocidades médias a altas; - Mobilização de solo, rochas, detritos e água; - Grandes volumes de material; - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas. |

Fonte: Augusto Filho (1992 apud Lopes, 2006).

Conhecer e entender as características dos movimentos gravitacionais de massa é de grande importância para o planejamento e adoção de medidas de intervenção provisórias ou definitivas, diminuindo assim o risco de perdas e danos. Na sequência são detalhadas as características de cada um dos tipos de movimento com base nas definições de Cruden e Varnes (1996).

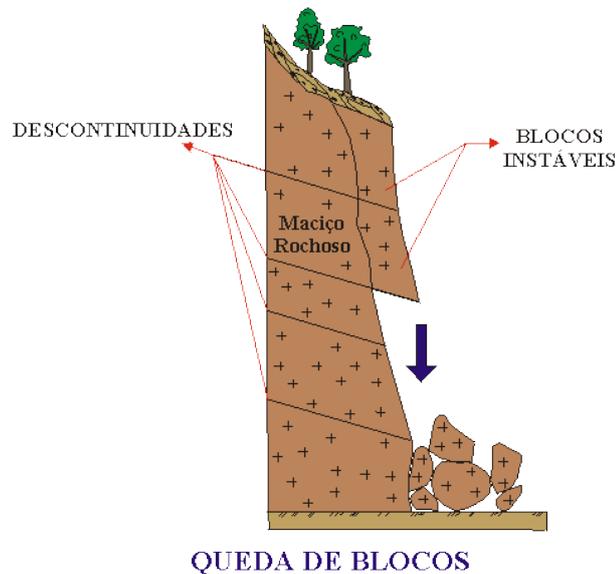
2.1.1 - Tipos de movimentos e suas características

QUEDAS (FALLS)

Os materiais, rocha ou solo, se desprendem das encostas pela ação da gravidade. O movimento é do tipo queda livre ou de rolamento, com velocidade muito rápida (m/s) que pode atingir grande distância. Nas encostas íngremes o movimento geralmente é em queda livre e nas encostas com declividade 1:1 o movimento é de rolamento de matacões (CRUDEN e VARNES, 1996).

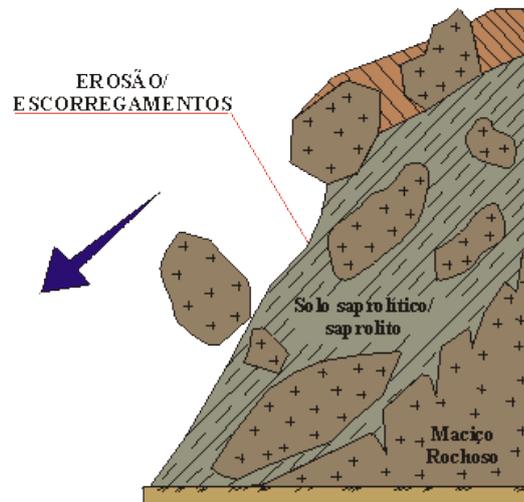
Queda de blocos:

Materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre, ou em plano inclinado (rolamento de matacões). Estes processos possuem velocidades muito altas e podem atingir grandes distâncias. Os processos de quedas possuem um forte condicionante litológico e estrutural, e sua deflagração pode estar intimamente associada a processos erosivos, como na queda de detritos em taludes de rochas sedimentares, ou rolamento de matacões em rochas graníticas (AUGUSTO FILHO, 1994 apud BRASIL, 2010).



Fonte: UNESP (2015).

Rolamento de blocos: Os rolamentos de blocos ocorrem quando processos erosivos ou escavação removem o apoio da base da rocha (descalçamento). É muito comum em áreas de rochas graníticas, onde existe a maior predisposição a originar matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície. A ação antrópica é a mais comum no seu desencadeamento devido à ocupação desordenada das encostas em que as escavações removem o apoio dessas rochas (BRASIL, 2007a).

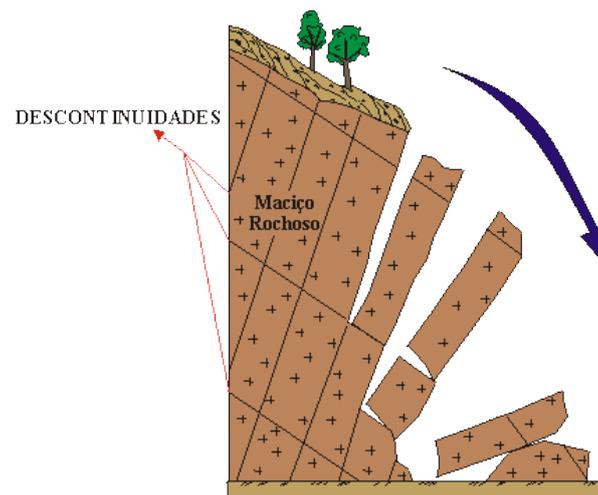


Fonte: UNESP (2015).

ROLAMENTO DE BLOCOS

TOMBAMENTOS (*TOPPLES*)

O movimento se dá a partir da rotação de um bloco da encosta em torno de um eixo. Este movimento está condicionado à existência de planos de fraqueza (CRUDEN e VARNES, 1996).



TOMBAMENTO

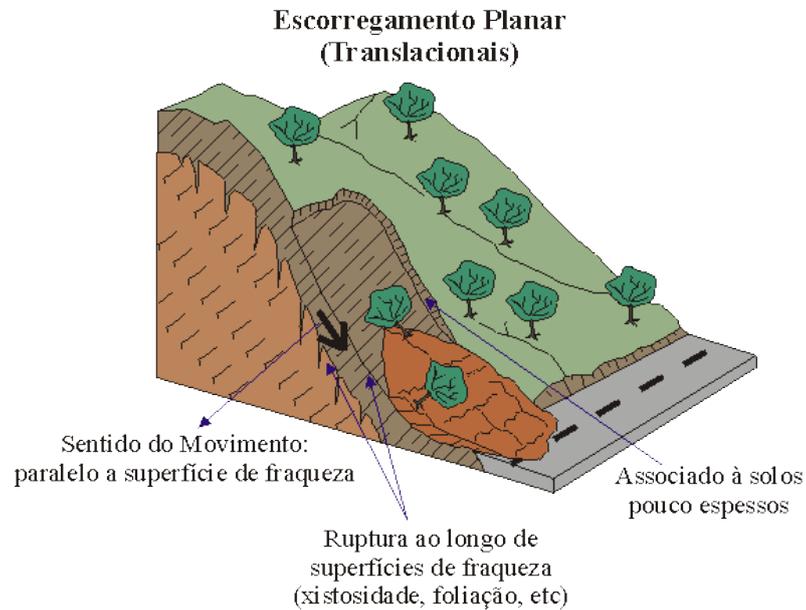
Fonte: UNESP (2015).

Podem ser definidos como um tipo de movimento de massa em que ocorre a rotação de um bloco de solo ou rocha em torno de um ponto ou abaixo do centro de gravidade da massa despreendida. Este processo está condicionado pela ação da água ou do gelo em planos de fraqueza existentes no maciço rochoso. Os tombamentos podem conduzir a movimentos tipo quedas ou escorregamentos dependendo da geometria da massa movimentada, da geometria da superfície de separação e da orientação e extensão das descontinuidades existentes. A velocidade deste tipo de movimento pode variar de extremamente lenta a extremamente rápida (BRASIL, 2010).

ESCORREGAMENTOS (SLIDES)

É o movimento que ocorre geralmente através de uma superfície de ruptura. Os primeiros sinais podem ser observados através de fissuras na superfície do solo (CRUDEN e VARNES, 1996). Os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: rotacionais ou circulares, translacionais ou planares e em cunha.

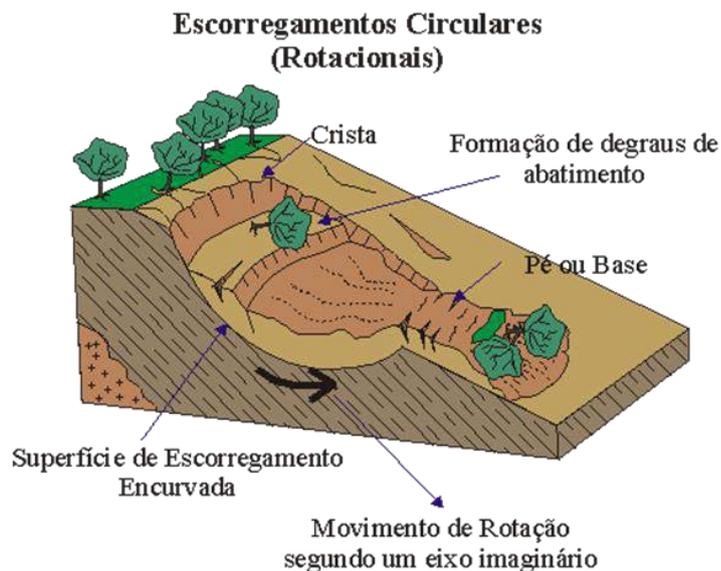
Escorregamento planar:



Fonte: UNESP (2015).

Segundo Brasil (2010) o movimento é predominantemente acompanhado por uma translação. Estes movimentos são condicionados às discontinuidades ou planos de fraqueza existentes. Para Brasil (2007a) os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras). Este tipo de deslizamento também pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.).

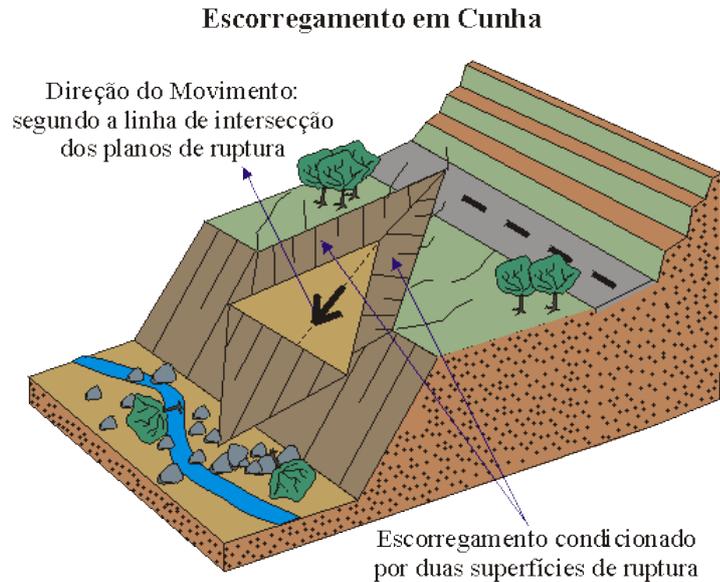
Escorregamento circular:



Fonte: UNESP (2015).

Os deslizamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais (BRASIL, 2007a).

Escorregamento em cunha:

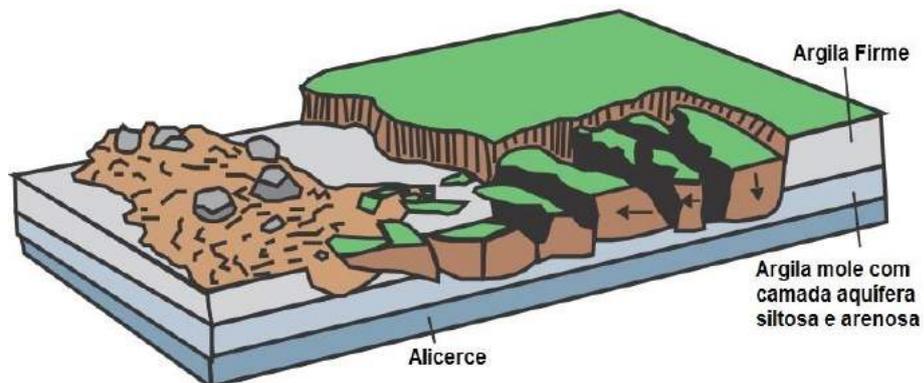


Fonte: UNESP (2015).

Os deslizamentos em cunha estão associados a saprolitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de interseção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos pretéritos. (BRASIL, 2007a).

EXPANSÕES LATERAIS (*SPREAD*)

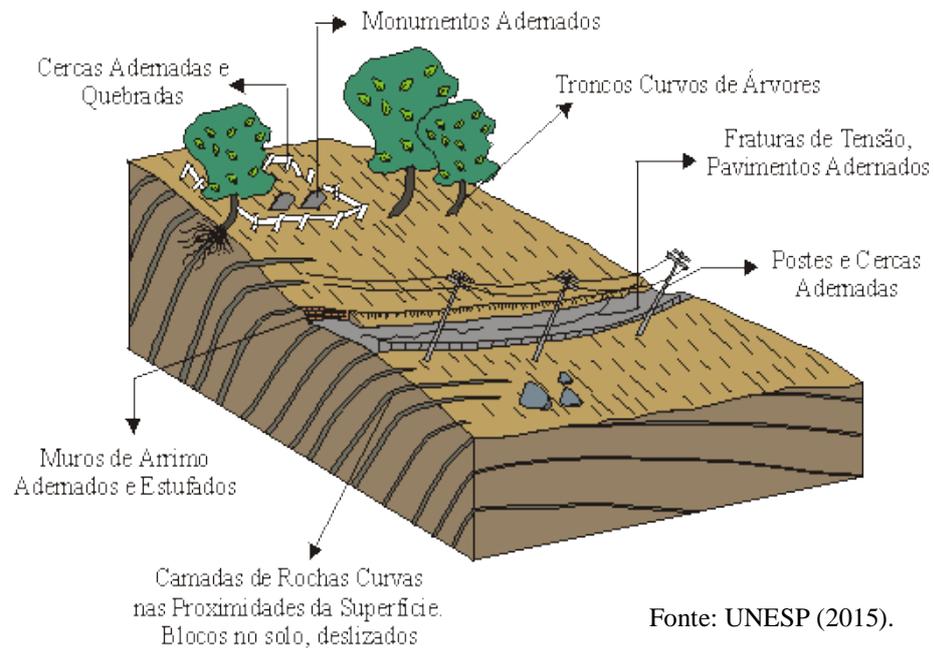
Ocorre em materiais mais rígidos sobrejacentes a camadas menos resistentes, formando fissuras e fraturas transversais à direção do movimento. O movimento é repentino e se dá pela perda de resistência da camada subjacente, devido a ação da água, como o efeito da liquefação das areias, e pode também ocorrer devido o escoamento plástico como nas argilas sensíveis. O material sobrejacente pode sofrer movimentos de subsidência, translação, rotação, desintegração ou escoamento (CRUDEN e VARNES, 1996).



Fonte: USGS (2016).

RASTEJO (*CREEP*)

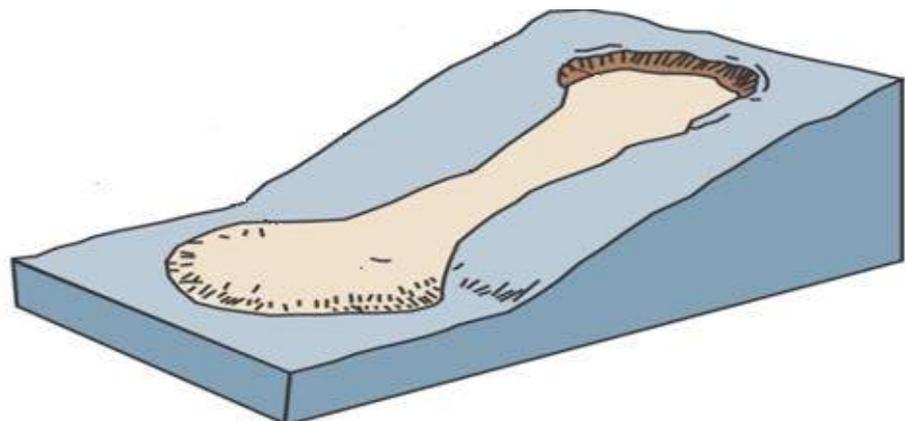
Envolve um conjunto de movimentos lentos que não apresentam uma superfície de ruptura marcante, tampouco uma geometria bem definida. Semelhante aos demais movimentos de massa, podendo mobilizar qualquer tipo de material: solo, rocha ou a mistura dos dois. Este tipo de movimento apresenta velocidades de deslocamento muito baixas, com taxas de deslocamento decrescentes gradualmente com a profundidade. Podem ser associados a mecanismos de movimentos contínuos resultantes da deformação sob uma tensão constante e a mecanismos pulsantes, avançando com velocidade não uniforme, associado a alterações climáticas sazonais (BRASIL, 2010).



CORRIDAS/ESCOAMENTO (*FLAWS*)

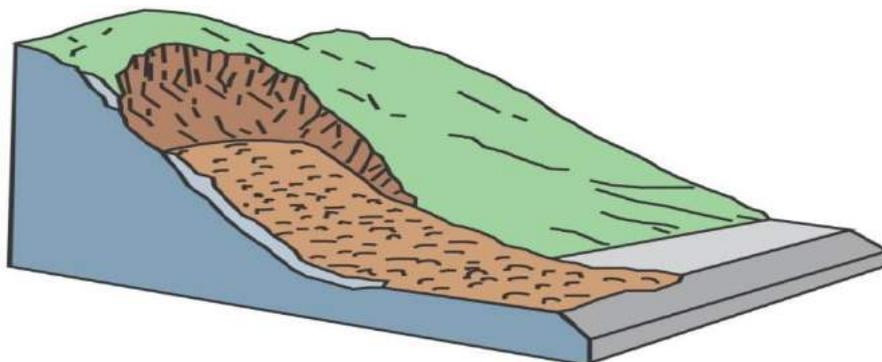
São formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material, devido ao excesso de água. A massa se desloca semelhante a um líquido viscoso (CRUDEN e VARNES, 1996). Considerando as características do material mobilizado, as corridas podem ser classificadas em 2 tipos básicos:

Corrida de Terra: Ocorre predominantemente com materiais de granulação fina ou argilosa em encostas moderadas e em condições saturadas. Entretanto, pode haver a possibilidade de ocorrer com fluxo de material granular seco. É um movimento rápido que ocorre em vertentes muito íngremes e envolve o transporte com fluxo intenso de lama, água ou solo, que podem ser catastróficos (RODRIGUES, 2013).



Fonte: USGS (2016)

Corrida de detritos:



Fonte: USGS (2016).

A corrida de detritos é formada por rocha, solo e vegetação, onde são transportados pela água através das encostas íngremes. Geralmente é provocado pelo escoamento superficial da água devido a fortes chuvas ou vazamentos de tubulações provocados pelo homem. Vale ressaltar que o desmatamento da vegetação e o acúmulo de lixo nas encostas podem intensificar a suscetibilidade deste evento (RODRIGUES, 2013).

Cabe observar que a combinação de um ou mais, dos movimentos descritos também pode ocorrer. As combinações de movimentos mais frequentemente observadas são as quedas e rolamentos de blocos associados à corrida de materiais grosseiros (detritos) e ainda escorregamentos e corrida de solos e detritos (RODRIGUES, 2013).

2.1.2 - Condicionantes dos processos de movimentos de massa

Guidicini & Nieble (1984 apud TOMINAGA, 2007) descrevem as causas e agentes de movimentos gravitacionais de massa, considerando que um mesmo agente, ou uma mesma causa, pode ser responsável por diferentes formas de movimentos. O processo dos movimentos de encostas caracteriza uma série contínua de eventos associada ao mecanismo de causa e efeito. Em alguns casos, pode ser mais econômico reparar os efeitos de um escorregamento do que remover a sua causa. No entanto, a utilização de medidas apropriadas para estabilização requer o claro entendimento do processo que o causa (RODRIGUES, 2013).

Segundo Cruden e Varnes (1996), os fatores que contribuem para o movimento de massa em encostas podem ser listados (Quadro 2.4) através de quatro classes de causas: geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas.

Quadro 2.4 – Inventário de causas de movimentos de massa.

| CONDICIONANTES | CARACATERÍSTICAS DOS MATERIAIS OU DOS AGENTES |
|---------------------|---|
| Causas geológicas | <ul style="list-style-type: none"> - Materiais enfraquecidos, sensíveis, intemperizados; - Materiais cisalhados, fraturados ou fissurados; - Massa descontínua orientada adversamente (falha, contatos sedimentares, etc.); - Contrastes na permeabilidade e seus efeitos na poro-pressão; - Contrastes na rigidez (duro, material denso sobre material plástico). |
| Causas morfológicas | <ul style="list-style-type: none"> - Subpressão tectônica ou vulcânica; - Reação glacial; - Carregamento no topo ou na base do talude; - Remoção da vegetação por erosão, queimadas, secas, etc.; - Erosão de margens laterais; - Erosão fluvial no pé do talude, erosão de onda/glacial de pé de talude; - Erosão subterrânea ("pipping"). |
| Causas físicas | <ul style="list-style-type: none"> - Chuvas intensas em curtos períodos; - Derretimento rápido de neve; - Precipitação excepcional prolongada; - Rebaixamento rápido de inundações e marés; - Terremoto e erupção vulcânica; - Intemperismo/desgaste devido ao congelamento e descongelamento - Intemperismo/desgaste devido à contração e expansão de solos expansivos. |
| Causas antrópicas | <ul style="list-style-type: none"> - Escavação no talude ou na sua base; - Carregamento do talude ou da sua crista; - Rebaixamento de reservatórios; - Desmatamento; - Irrigação e mineração; - Vibração artificial; - Vazamento de águas servidas. |

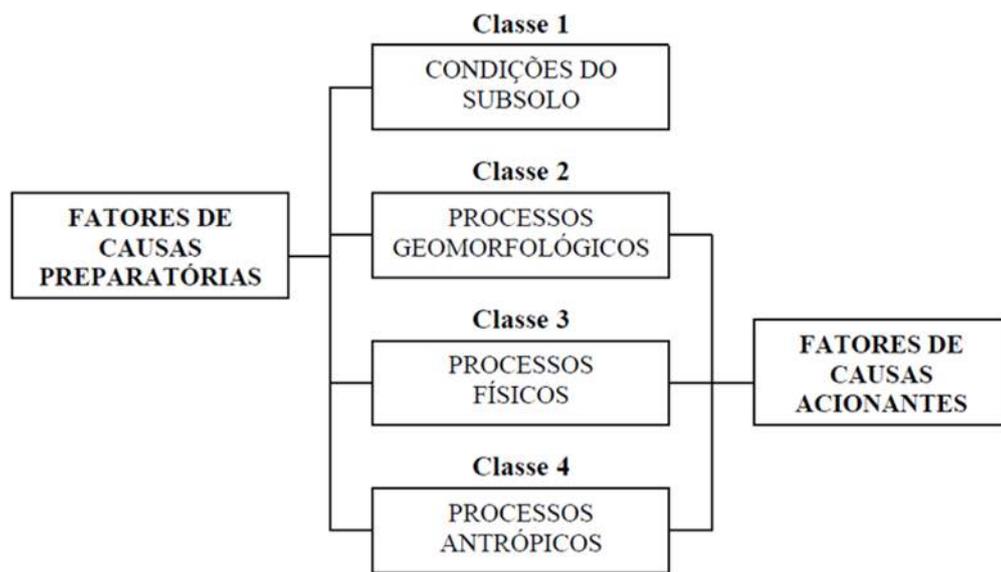
Fonte: Coutinho e Severo (2009) adaptado de Cruden e Varnes (1996).

Leroueil (2004) aponta que todos os tipos de movimentos de massa estão associados a fatores de causa específicos que podem ser divididos em três grupos:

- a) Fatores predisponentes: indicam a situação atual e determinam a resposta do talude seguindo a ocorrência de um fator acionante.
- b) Fatores acionantes ou agravantes: São os que conduzem a ruptura do talude; enquanto que os fatores agravantes produzem uma modificação significativa nas condições da estabilidade ou na velocidade do movimento;
- c) Fatores revelantes: Fornecem a evidência do movimento no talude, mas geralmente não participam do processo.

Segundo Bandeira (2003) os fatores de causas preparatórias/predisponentes incluem a geologia, morfologia, as características físicas e antrópicas, que tornam a encosta susceptível ao movimento, tendendo a colocá-la num estado de estabilidade marginal. Os fatores de causas acionantes incluem a morfologia, as características físicas e antrópicas, nos quais iniciam o movimento. Estes agentes modificam o talude de um estado de estabilidade marginal para um estado ativamente instável (Figura 2.2).

Figura 2.2- Diagrama dos processos dos fatores de causas preparatórias e acionantes dos deslizamentos.



Fonte: Leroueil (2004) modificado de Coutinho e Silva (2006).

Conforme descrição de Cruden e Varnes (1996 apud COUTINHO E SILVA, 2006), os principais mecanismos deflagradores de movimentos de massa estão relacionados ao aumento das solicitações e à redução da resistência dos terrenos, associados aos fenômenos naturais e às atividades antrópicas atuantes na área. O Quadro 2.5 apresentado anteriormente descreve de forma sucinta os principais grupos de fatores e suas causas que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa. Estes fatores são externos à condição natural do talude e são os principais responsáveis pelo volume de massa movimentada e a velocidade do movimento. O Quadro 2.5 apresenta os fatores de acordo com o aumento da solicitação e a redução da resistência.

Quadro 2.5 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa.

| AÇÃO | FATORES | FENÔMENO GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS |
|-------------------------------|---|---|
| AUMENTO DA SOLICITAÇÃO | REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou da base) | - Erosão, escorregamentos -Cortes |
| | SOBRECARGA | -Peso da água de chuva etc. -Depósito de material -Peso da vegetação -Contenção de estruturas, aterros, etc. |
| | SOLICITAÇÕES DINÂMICAS | -Terremotos, ondas etc. -Explosões, tráfego, sismos induzidos. |
| | PRESSÕES LATERAIS | -Água em trincas, congelamento, material expansivo. |
| REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA | CARACTERÍSTICA INERENTE AO MATERIAL (textura, geometria, estrutura, etc.) | -Características geomecânicas do material, tensões iniciais. |
| | MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS | -Intemperismo – redução da coesão, ângulo de atrito. -Elevação do nível de água- aumento da umidade com redução da sucção. |

Fonte: Varnes (1978 apud Coutinho e Silva, 2006)

O conhecimento das causas e dos agentes condicionantes dos movimentos é fundamental para a adoção de medidas preventivas e corretivas voltadas a minimizar ou evitar consequências negativas resultantes desses tipos de processos.

2.1.2.1 - Condicionantes geológicos e pedológicos

Dentre os aspectos geológicos, considera-se a composição mineralógica ou físico-química das diferentes litologias, suas propriedades mecânicas, estruturas geológicas e grau de intemperismo, como importantes fatores no desencadeamento de movimentos de massa (TOMINAGA, 2007).

Segundo Fernandes e Amaral (1996) as fraturas e falhas representam importantes discontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos. São identificados dois tipos principais de fraturas, as de origem tectônica, como as geradas durante fases de deformação de caráter rúptil e as atectônicas, como as que podem se formar por alívio de tensão. Quando estas fraturas se encontram subverticais e próximas entre si, propiciam movimentos de blocos do tipo tombamento. Assim como as fraturas, as falhas também atuam como caminhos preferenciais de percolação de água e ocorrência de alteração, pois através das falhas o intemperismo avança para o interior do maciço rochoso de modo muito mais efetivo. A orientação da foliação e/ou bandamento composicional, estruturas comuns nas rochas metamórficas, também influenciam a estabilidade das vertentes e principalmente de taludes de corte, em estradas.

O solo residual ou saprolito também pode apresentar várias discontinuidades originadas, principalmente por feições estruturais reliquias do embasamento rochoso (falhas, fraturas, foliação, etc.) e por horizontes de solo formados por processos pedogenéticos (RODRIGUES, 2013). Conforme Selby (1993), estas fraturas reliquias podem favorecer a ocorrência de escorregamentos, principalmente, se um ou mais destes sistemas mergulha para fora da vertente, ou quando estiver preenchida por material argiloso formando barreiras ao fluxo de água, ou ainda se houver redução no ângulo de atrito e na coesão, devido ao avanço do intemperismo ao longo da fratura.

A presença destas discontinuidades nos solos saprolíticos tem influência sobre o tipo de movimento de massa a ser gerado. Escorregamentos rotacionais podem predominar em vertentes onde as fraturas no embasamento rochoso encontram-se pouco espaçadas e a alteração produz um saprolito mais homogêneo com característica granular. Nas vertentes, em que o saprolito apresenta juntas reliquias decorrentes da alteração de fraturas de alívio de tensão ou do bandamento composicional, predominam os escorregamentos translacionais (FERNANDES e AMARAL, 1996).

2.1.2.2 - Condicionantes geomorfológicos

O movimento gravitacional de massa é influenciado pela morfologia da vertente. A altura desta, bem como a sua inclinação constituem fatores importantes a serem considerados na análise do problema. No Brasil, todos os eventos catastróficos relacionados com os movimentos de massa ocorreram em áreas de alta declividade. As áreas críticas são aquelas dos terrenos montanhosos, como os da Serra do Mar. Em vertentes com declividades superiores a 40° formam-se grandes escamas rochosas protegidas em parte da meteorização pelo próprio declive. Entretanto, nos planos de diaclasamento e de fratura a ação do intemperismo se faz sentir, originando faixas de materiais alterados separando fatias rochosas inalteradas ou pouco intemperizadas. Nesses locais, o excesso de água e a ação da gravidade desempenham um papel importante no deslocamento maciço veloz, quase seco de material de baixíssima plasticidade. (BIGARELLA et al., 2003)

Segundo Pinto et al. (2013) com relação ao fator altitude, também correlacionado aos movimentos de massa, é importante salientar que, embora condicionante, não existem limites precisos para classificar o nível de suscetibilidade do terreno com relação a hipsometria. Bigarella et al. (2003) reportam-se ao trabalho de Aguiar e Silva (1991) referente à ocorrência

de escorregamentos em Cubatão-SP, estes verificaram que a maior frequência de escorregamentos se situava entre 150 e 750m, com maior predominância entre 300 e 450m, sendo que abaixo e acima destas altitudes, os movimentos teriam sido poucos frequentes”.

Em relação aos perfis das encostas, dividido em três tipos distintos, convexo, côncavo e retilíneo, este também é considerado um aspecto geomorfológico que tem influência direta na estabilidade das encostas. Para o IPT (1991) a influência na estabilidade da encosta de acordo com os perfis funciona da seguinte forma: as encostas retilíneas tendem a apresentar maiores declividades em geral, que as convexas, assim são mais suscetíveis a escorregamentos. Encostas convexas apresentam, em média, maiores espessuras de solos, que pode influenciar no sentido de favorecer a instabilidade, potencializando uma ruptura mais profunda. No entanto para Fernandes e Amaral (1996) os perfis côncavos, por serem zonas de convergência de sedimentos e de fluxos d'água, são mais favoráveis aos movimentos de massa.

Quanto à orientação, leva-se em consideração aspecto da encosta relacionados a maior ou menor exposição aos elementos climáticos como ventos, chuvas e insolação, que interferem na estabilidade das encostas. Dai e Lee (2002 apud PINTO et al., 2013) destacam que a orientação das encostas afeta indiretamente a resistência ao cisalhamento em virtude de estar intimamente relacionada à presença de umidade e de cobertura vegetal. Outro aspecto considerável é que as precipitações estão relacionadas à direção predominante dos ventos, ou seja, a quantidade de chuva é maior nas encostas expostas a estes eventos.

2.1.2.3 - Condicionantes climáticos e pluviométricos

É importante frisar que embora existam diferentes agentes deflagradores de deslizamentos, as chuvas constituem o principal deles, em especial para as condições climáticas e geológico-geotécnicas do Brasil (VEDOVELLO e MACEDO, 2007). Segundo Bandeira (2003) os movimentos de massa tendem a apresentar uma forte correlação com as chuvas intensas e duradouras. As chuvas agem com os seguintes mecanismos para instabilizar as encostas:

1. Elevação do lençol freático, reduzindo a pressão efetiva e gerando forças de percolação;
2. Preenchimento temporário das fendas, trincas e/ou estruturas em solos saprolíticos e rochas (fraturas, juntas, etc.), com geração de pressões hidrostáticas; algumas vezes gerando artesianismo e, por consequências, rupturas hidráulicas;
3. Aumento da umidade sem a elevação/formação de nível d'água (solos não saturados), reduzindo a resistência dos solos pela perda de sucção - “coesão aparente”.

Brasil (2010) descreve que os índices pluviométricos críticos para a ocorrência dos movimentos de massa, variam com o regime de infiltração no solo, a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e o tipo de instabilização, como por exemplo:

- a) Os escorregamentos em rocha tendem a ser mais suscetíveis a chuvas concentradas, pois as forças de percolação geram maiores pressões neutras nas fraturas e discontinuidades dos materiais rochosos;
- b) Os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados, já que o processo de saturação diminui a coesão e o ângulo de atrito interno dos solos;
- c) Os processos tipos corridas estão associados a índices pluviométricos muito intensos (acima de 50 mm/hora), pois as elevadas forças de percolação provocam rupturas internas e anulam a resistência ao cisalhamento dos materiais;
- d) As rupturas em áreas modificadas pelo homem com desmatamentos, cortes ou aterros, chamados de escorregamentos induzidos, podem ocorrer com valores de precipitações considerados normais.

A correlação entre chuva e os escorregamentos é utilizada em vários municípios brasileiros como critério técnico para a implantação de planos de contingência. A principal aplicação destas correlações é tentar se antecipar à deflagração dos movimentos de massa, a partir do acompanhamento dos índices pluviométricos de uma região, sendo possível alertar, antecipadamente, a população da possibilidade de deslizamentos. É mais fácil e barato monitorar o parâmetro chuva do que monitorar o grau de saturação dos taludes e encostas, principalmente em grandes áreas. Apesar das limitações e imprecisões, essas correlações podem fornecer um importante instrumento de baixo custo de implantação para o monitoramento e gerenciamento de riscos associados a escorregamentos em áreas urbanas (BRASIL, 2010).

2.1.2.4 - Remoção da cobertura vegetal

Segundo Gray e Leiser (1982 apud BANDEIRA, 2003), a cobertura vegetal apresenta efeitos favoráveis e desfavoráveis em relação à estabilidade das encostas, apresentados a seguir.

Efeitos favoráveis:

Redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardam e diminuem a quantidade efetiva

de água que penetra no solo, além disso, a evapotranspiração também retira água do solo, atuando favoravelmente à estabilidade;

Acréscimo da resistência do solo devido às raízes: As raízes da vegetação de porte arbóreo podem aumentar a resistência ao cisalhamento do solo de duas formas principais: pelo reforço mecânico do solo, onde existe uma transferência parcial da tensão de cisalhamento atuante no solo para as raízes; e por escoramento, quando as raízes são profundas de sustentação dos horizontes superficiais;

Efeitos desfavoráveis:

Efeito de alavanca: força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos;

Efeito de cunha: pressão causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha;

Sobrecarga vertical: causada pelo peso das árvores.

Ainda em relação aos efeitos favoráveis Guidicini e Nieble (1984 apud TOMINAGA, 2007) salientam que a cobertura vegetal é considerada como fator de estabilidade de encosta não somente em relação a escorregamentos, como também em relação a movimentos lentos de rastejo. Outro efeito benéfico da cobertura vegetal é a limitação de áreas atingidas por escorregamentos, através da retenção da massa mobilizada. A vegetação atua também como dissipador de energia, diminuindo a velocidade do material em deslocamento e a área afetada, minimizando os danos em terrenos situados à jusante. A importância da cobertura vegetal na manutenção da estabilidade das encostas é indiscutível. Segundo Araújo (2004), ela é único fator externo inibidor do movimento superficial dos terrenos.

2.1.2.5 - Ação antrópica

Muito embora os movimentos gravitacionais de massa sejam parte da dinâmica natural de áreas com encostas íngremes, a ação do homem, através de suas mais variadas formas de uso e ocupação do solo, interfere na evolução natural desses processos, ora induzindo, ora diminuindo os seus efeitos (ARAÚJO, 2004).

Atividades realizadas pelo homem, como, remoção da vegetação, a execução de cortes e aterros instáveis para construção de moradias e vias de acesso, a deposição de lixo nas encostas, a ausência de sistemas de drenagem de águas pluviais e coleta de esgotos, a elevada

densidade populacional, lançamento de águas servidas, a fragilidade das moradias, entre outros aspectos aumentam tanto a frequência das ocorrências como a magnitude dos acidentes (BRASIL, 2006).

Para Bigarella et al. (2003) a ação antrópica tem tido uma participação ponderável na desestabilização das vertentes da paisagem moderna. O homem ultimamente está alterando as vertentes de tal forma que ocasionalmente vastas áreas procuram um novo equilíbrio através de extensas movimentações de massa.

2.2. - PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA

O termo erosão provém do latim (erodere) e significa “corroer”. Nos estudos ligados à ciência da terra, o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, de queimadas, do gelo e de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Foi na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, o primeiro momento em que o tema erosão, suas causas e consequências foi abordado pela comunidade internacional. Desde então, a erosão, juntamente com a erodibilidade, vem sendo estudada em diversas áreas de conhecimento, como Agronomia, Geologia, Geografia e Engenharia Civil (Hidráulica e Geotecnia) (FERNANDES, 2011).

A erosão e, conseqüentemente, o desgaste do solo, são assuntos de grande preocupação mundial, em razão da rapidez com que se processam e por acarretarem enormes prejuízos de ordem física, financeira e social (AMORIM, et al., 2010)

É um processo que resulta em transporte de massa devido à dinâmica superficial das encostas. Formada em decorrência do arraste de partículas em taxas variáveis, mas com efeitos duradouros sobre a paisagem, modificando o relevo e os continentes, como no caso da erosão geológica, ou podendo atingir taxas de transporte muito acentuadas em áreas agrícolas ou zonas urbanas com intensa mobilização de solos (MARTINI, 2006).

O processo erosivo depende de fatores externos, como o potencial de erosividade da chuva, as condições de infiltração e escoamento superficial, a declividade e comprimento do talude ou encosta e, ainda, de fatores internos, como gradiente crítico, desagregabilidade e erodibilidade do solo. A evolução da erosão ao longo do tempo depende de fatores tais como características geológicas e geomorfológicas do local, presença de trincas de origem tectônica e evolução físico-química e mineralógica do solo (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

Ainda segundo Camapum de Carvalho et al. (2006), as erosões se classificam quanto à forma como surgiram, e podem se dividir em dois grandes grupos: a erosão natural ou geológica e a erosão antrópica ou acelerada, sendo a geológica ocasionada por fatores naturais (ação da chuva, cobertura vegetal, relevo, tipos de solo e substrato rochoso), enquanto a antrópica está relacionada à ação humana (desmatamento e formas de uso e ocupação do solo). No entanto, é mais comum classificar a erosão a partir do agente deflagrador (hídrica, eólica, glacial e marinha) destacando-se a erosão hídrica, ocasionada pela chuva e subdividida em costeira, fluvial e pluvial.

De acordo com Bandeira (2003), com relação ao agente deflagrador destacam-se dois tipos de erosão: eólica e hídrica (costeira, fluvial e pluvial). A erosão eólica ocorre quando o desgaste e transporte das partículas se dão pela ação dos ventos, enquanto a erosão hídrica se dá pela ação das águas. A erosão costeira se caracteriza por uma série de processos complexos que resultam no recuo da linha de costa em direção ao continente. A erosão fluvial se caracteriza pela ação das águas na calha de rios e nas suas margens. A erosão pluvial está associada ao escoamento imediato de água proveniente de precipitações pluviométricas e será tema desta revisão bibliográfica por apresentar uma ocorrência representativa na área de estudo.

2.2.1 - Erosão hídrica pluvial

Dentre as diversas formas de erosão, aquela causada pela água é a mais comum, e de maior distribuição territorial no Brasil e no mundo (FLAUZINO, 2012). Sendo considerada por Cogo et al. (2003) como a forma mais prejudicial de degradação do solo.

A erosão hídrica é um processo originado pela ação da água da chuva, em que a força de escoamento superficial e subsuperficial são capazes de proceder ao arranque e o arraste das partículas do solo (ZUQUETTE et al., 2007).

Para Flauzino (2012) o processo se inicia com o impacto das gotas de chuva sobre o solo desnudo que, por meio da quebra dos agregados, causa o desprendimento das partículas e o transporte por salpicamento (*splash*). Quando o solo tem sua capacidade de infiltração reduzida e torna-se saturado, a água começa a escorrer pela superfície do terreno, dando origem ao escoamento superficial que, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), é o maior agente de transporte de partículas no solo. De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006) o destacamento das partículas cessa quando o solo passa a resistir aos esforços de arrancamento e o fluido satura a sua capacidade de transporte de sedimento.

De acordo com Santos et al. (2008), há dois grandes tipos de erosão, a laminar, produto do escoamento superficial difuso, e a linear, produto do escoamento superficial concentrado (em linhas e eixos) que promove a formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

2.2.1.1 - Erosão laminar (Erosão entre sulcos ou em lençol)

A erosão laminar é a remoção de camadas delgadas do solo, por meio de filetes e lâminas d'água difusos que serpenteiam sobre a superfície do terreno sem formar canais, mas capazes de remover quantidades significativas de solo, é a forma de erosão menos notada, contudo perigosa. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

O fluxo em lençol é capaz de transportar somente partículas muito finas e a efetividade da erosão laminar é controlada fortemente pelas características da superfície, como o tamanho das partículas e o grau de coesão entre elas, à extensão e natureza da cobertura vegetal e a declividade do terreno. Este processo ocorre especialmente em solos arenosos, onde grandes porções das encostas são cobertas pelo lençol de água (GUERRA, 1999).

Esse tipo de erosão se desenvolve quando há poucos obstáculos no caminho das águas, permitindo que a lâmina d'água escoe, sendo um fenômeno muito comum em regiões semiáridas. Sua observação é difícil, mas pode ser percebida pelo aparecimento de raízes de plantas ou marcas nas estruturas (GOMES, 2001).

2.2.1.2 - Erosão linear (Erosão em sulcos)

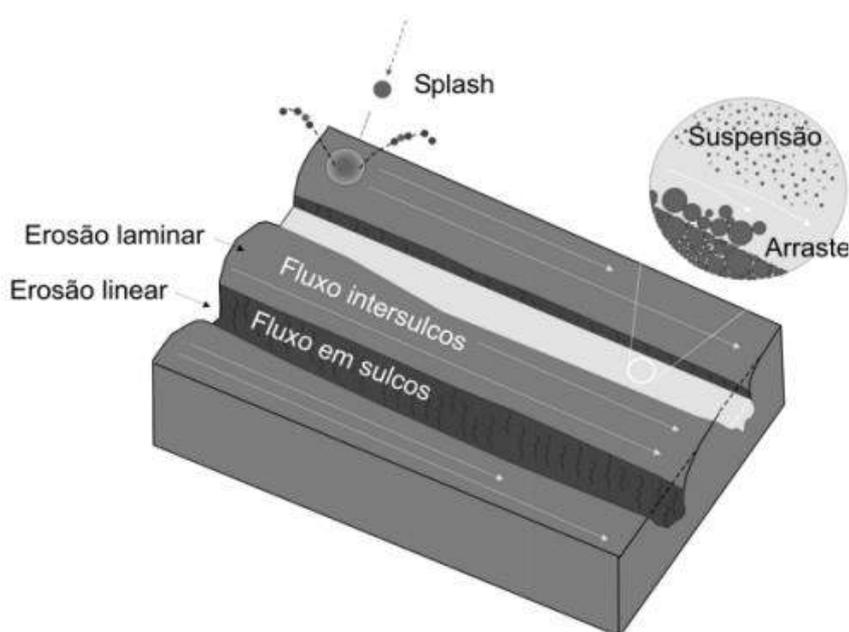
A erosão em sulcos constitui a segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo que é marcada pela mudança da forma de escoamento. De difuso, sobre a superfície do solo na fase inicial da erosão entre sulcos, tal processo se concentra, na segunda fase, em pequenas depressões da superfície do solo chamadas de sulcos de erosão. Quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento da espessura, elevando, portanto, a capacidade do escoamento em desagregar o solo (LAFAYETTE et al., 2011). Como resultado da erosão linear, podem-se observar três tipos de feições erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas.

Segundo Fernandes (2011) os conceitos de sulcos, ravinas e voçorocas diferem com relação às dimensões da incisão, com a geometria da feição erosiva, com o afloramento do lençol freático na incisão ou com o tipo de fluxo do escoamento. Mesmo não havendo um

consenso entre conceitos, as classificações mais utilizadas internacionalmente são aquelas relacionadas às dimensões das incisões erosivas.

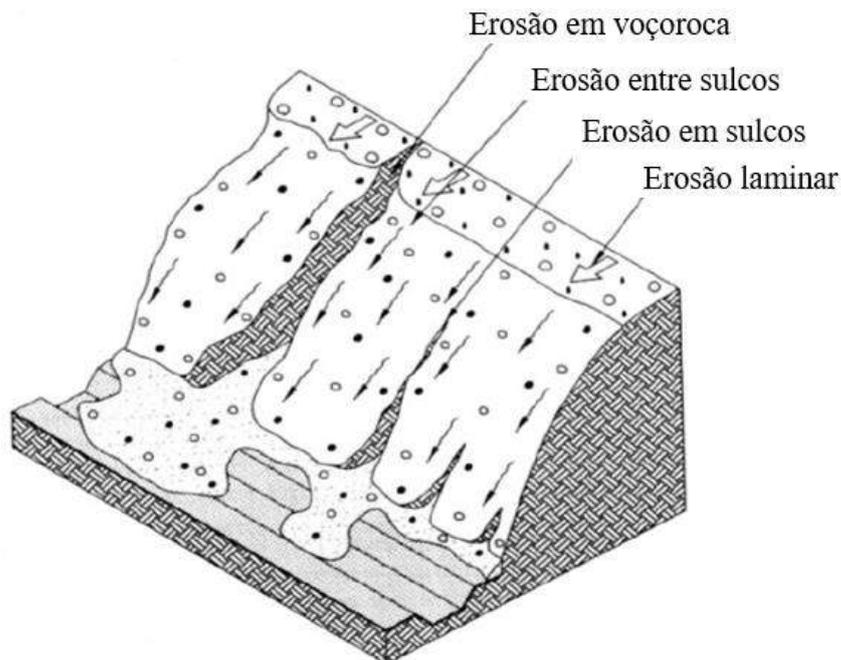
Camapum de Carvalho et al. (2006) coloca que sulcos são pequenos canais, de até 10cm de profundidade. O aumento da concentração de água em determinados sulcos faz com que eles evoluam progressivamente devido a ocorrência de pequenas rupturas, aumentando assim suas dimensões e evoluindo para as ravinas. Segundo Oliveira (1999), nas ravinas deve ser considerado mecanismos de erosão que envolve movimento de massa, representados pelos pequenos deslizamentos de suas bordas, que contribuem para o aumento de suas dimensões. Oliveira (1999) coloca ainda que as ravinas são normalmente de forma alongada, com profundidades variáveis, raramente são ramificadas e não atingem o nível d'água subterrânea. Ao atingir o lençol freático, ocorre então a contribuição das águas subterrâneas no processo erosivo, passando assim ao estágio de voçoroca.. Camapum de Carvalho et. al. (2006) coloca que a voçoroca é o estágio mais avançado e complexo do processo erosivo, seu potencial depende da concentração do fluxo de água e do gradiente hidráulico, promovido pela água subterrânea com o desenvolvimento de *piping*. Para as voçorocas, o poder destrutivo local é superior aos dos outros estágios e, portanto, de mais difícil controle e mais elevado custo de recuperação da área degradada. As Figuras 2.3 e 2.4 ilustram os processos erosivos laminares e lineares e seus mecanismos.

Figura 2.3 – Mecanismo do processo erosivo em um terreno com sulcos.



Fonte: Camapum de Carvalho et al. (2006).

Figura 2.4 - Erosão hídrica pluvial.



Fonte: Llopis Trillo (1999).

2.2.1.3 - Erosão interna (piping)

Segundo Camapum de Carvalho et al. (2006) erosão subterrânea ou piping é o processo de formação de tubos ou canais a partir da face de um talude através do transporte de partículas do solo, podendo evoluir para grandes cavidades no subsolo. A presença de terrenos estratificados é um condicionante geológico geralmente favorável à ocorrência de piping, pois concentra o fluxo em uma determinada camada em função da diferença de textura e, aliada ao relevo ondulado, é um fator determinante para a erodibilidade do solo/rocha.

2.2.2 - Fatores condicionantes da erosão

O processo erosivo possui diversos condicionantes, tornando-o dessa forma, um sistema complexo, que dependendo de seu grau de evolução, pode ser de difícil entendimento. Para Coutinho e Silva (2006), os processos erosivos são resultantes de um conjunto de fatores condicionantes naturais e antrópicos que influenciam no seu desenvolvimento. Os principais fatores naturais são: chuva, topografia, geologia, solos e cobertura vegetal. Como fatores antrópicos, podemos destacar o desmatamento e as construções inadequadas.

2.2.2.1 - Chuva

A precipitação pluviométrica é o fator climático de maior importância no desenvolvimento dos processos erosivos. De acordo com Dias e Herrmann (2002), um episódio de chuva intensa e prolongada favorece a elevação do grau de saturação dos solos, provocando a redução da resistência ao cisalhamento, especialmente as parcelas de resistência relacionadas às tensões capilares. Para Bigarella (2007), o excesso de água no subsolo afeta os materiais coloidais que, ao invés de conferirem resistência ao solo, tendem a sua “liquefação”. A superfície impermeável ou de cisalhamento torna-se “lubrificada”, facultando o deslocamento.

Para Fendrich et al. (1991 apud Fernandes, 2011) locais de climas úmidos, tropical quente e temperado, com inverno seco e verão chuvoso, são mais propícios de serem afetados pelos processos erosivos. A temperatura também influencia nos processos erosivos e juntamente com a insolação ambas provocam dilatações e contrações sucessivas que enfraquecem o solo, facilitando a remoção de partículas (GOMES, 2001).

A habilidade da chuva em causar erosão é denominada de erosividade e para Guerra e Mendonça (2004) fatores como a intensidade, duração, frequência, particularidades das gotas de chuva (velocidade de queda, diâmetro da gota e efeito splash) e a energia cinética da chuva natural, influenciam diretamente na erosão. Segundo eles, chuvas de maior intensidade e com alta frequência possuem uma grande energia cinética armazenada durante a sua queda e um grande poder erosivo.

2.2.2.2 - Cobertura vegetal

A cobertura vegetal tem um papel fundamental, pois atua no sentido de diminuir a velocidade e facilitar a infiltração da água. Para Fernandes (2011), a cobertura vegetal é considerada importante, pois diz respeito à permeabilidade/impermeabilidade do solo e das camadas adjacentes. A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, pois amortece o impacto das gotas de chuva, diminuindo seu potencial de destacamento e transporte das partículas de solo.

O efeito da vegetação pode ser enumerado da seguinte forma: (a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; (b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; (c) decomposição das raízes das plantas que, formando canais no solo, aumentam a infiltração da água; (d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica e

húmus (através da decomposição da vegetação) aumentando sua porosidade e a capacidade de retenção de água; e (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície. Portanto, a cobertura vegetal tem influência direta sobre o escoamento superficial e infiltração da água no solo, e a mudança do escoamento superficial e subterrâneo, como consequência do desmatamento, é a principal causa dos processos erosivos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985 apud FERNANDES 2011).

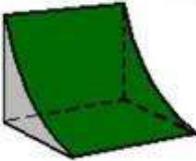
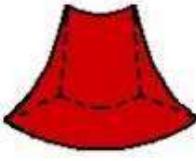
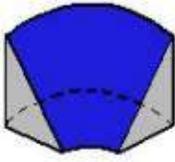
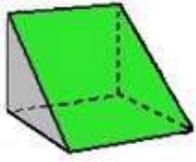
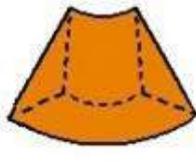
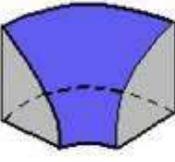
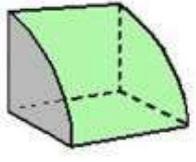
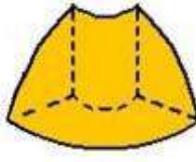
2.2.2.3 - Topografia

A declividade do terreno, o comprimento de rampa e a forma da encosta, constituem os principais fatores topográficos que regulam o processo erosivo (SANTOS, et al. 2008).

A velocidade do escoamento superficial, resultante da interação entre declividade e comprimento da encosta, influencia no tamanho e na quantidade do material em suspensão transportado pela água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Em baixas declividades, a velocidade do escoamento é pequena, tendo o solo mais tempo para absorvê-lo. Por outro lado, em altas declividades a velocidade do escoamento é maior, assim como seu volume, e conseqüentemente, a erosão (SANTOS, et al. 2008).

A forma da encosta determina as diferentes trajetórias do escoamento superficial, fundamental para o entendimento e quantificação da erosão (SANCHEZ, et al., 2009). Com relação à forma de encosta, Valeriano (2003) aponta a diferença entre a curvatura vertical e a curvatura horizontal, onde a primeira se expressa na direção da declividade e a segunda se expressa ao longo da curva de nível. As classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavos, retilíneos ou convexos) podem ser combinadas para fornecer a indicação da forma do terreno (Figura 2.5). Os casos extremos de combinação entre as curvaturas do terreno podem ser representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo de escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento).

Figura 2.5 - Combinação das classes de curvatura vertical e horizontal.

| | | Curvatura Horizontal | | |
|--------------------|-----------|--|--|---|
| | | Convergente | Planar | Divergente |
| Curvatura Vertical | Côncava |  |  |  |
| | Retilínea |  |  |  |
| | Convexa |  |  |  |

Fonte: GEGEP/UFPE, (2014) a partir de Dikau (1990).

2.2.2.4 - Geologia e propriedades do solo

A natureza do solo/rocha determina a susceptibilidade dos terrenos à erosão (propriedade do solo chamada de erodibilidade). Segundo Suguio (2003) a erosão é influenciada pela litologia e estruturas das rochas como a presença de estratificações, foliações, xistosidade e gnaissificação, como também por fatores tectônicos, tais como: falhas, dobras e juntas.

Autores como Fendrich et al. (1991 apud FERNANDES, 2011) são específicos na descrição das características do solo condicionantes do processo erosivo como sua textura, estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, e sua composição. A textura (características granulométricas), ou seja, a relação ao tamanho das partículas do solo influi na capacidade de infiltração e absorção d'água, interferindo na energia das enxurradas e na coesão dos solos.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), solos de caráter arenoso são mais vulneráveis ao processo erosivo, mesmo sendo normalmente porosos, permitindo rápida infiltração das águas

e retardando o escoamento superficial. Para estes autores, os solos com uma pequena quantidade de partículas tamanho argila, possuem baixa coesão, tendo uma menor resistência à erosão, sendo esta verificada mesmo em pequenas enxurradas. Consideram importante, no controle da erosão, a quantidade de matéria orgânica (MO) no solo, pois esta retém de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando assim a infiltração, resultando numa diminuição nas perdas de erosão.

Os fatores mais importantes que regem a infiltração de água no solo são o tamanho e a disposição dos espaços porosos; a umidade do solo no começo da chuva e/ou grau de saturação; sucção e o grau de agregação do solo. Solo arenoso, com grandes espaços porosos, pode-se esperar maior velocidade de infiltração quando comparados com os solos argilosos. O material coloidal do solo tende a se expandir quando saturado, reduzindo o tamanho, o espaço poroso, e conseqüentemente, a infiltração. As partículas finas do solo, quando estão bem agregadas, possuem espaços porosos maiores, proporcionando, maior velocidade de infiltração (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

A espessura do solo e o contato com o substrato rochoso interferem na rapidez de saturação do solo e no início do escoamento superficial. Solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superficiais, contribuindo para a formação das enxurradas. Estes solos se apresentarem uma camada argilosa subjacente a ele, estão mais vulneráveis à erosão (solos com horizonte B textural – Argissolos). Entretanto, os solos profundos apresentam maior capacidade de infiltração das águas pluviais (FENDRICH et al., apud FERNANDES, 2011)

Sant’Ana (2011) ressalta que a estrutura do solo envolve características como, por exemplo, a ligação entre suas partículas e a resistência à dispersão pela água e sua associação à textura do solo define a porosidade, cuja propriedade influi na permeabilidade, na capacidade de armazenamento de água e conseqüentemente no processo erosivo.

2.2.2.5 - Ação antrópica

Segundo Bandeira (2003) a ação antrópica pode ser danosa à natureza e ao homem. A interferência humana altera o processo natural da erosão, em geral acelerando sua ação e aumentando sua intensidade. Entre as ações causadas pela ação antrópica pode-se destacar: desmatamento, cultivo de terras, queimadas, construção de estradas, criação/expansão de vilas e cidades, execução inadequada de cortes e aterros, execução deficiente do sistema de drenagem (concentração de águas pluviais, servidas, etc).

CAPÍTULO 3

INUNDAÇÃO

As enchentes e inundações representam um dos principais tipos de desastres naturais que afligem constantemente diversas comunidades em diferentes partes do planeta, sejam áreas rurais ou metropolitanas (BRASIL, 2007a). Este capítulo visa apresentar aspectos de interesse ao estudo de enchentes e inundações, com base no entendimento dos diferentes tipos de processos e seus fatores condicionantes, bem como, abordar os impactos no meio físico e sobre a população afetada.

3.1 - ASPECTOS CONCEITUAIS

No passado, as inundações eram consideradas como fenômenos benéficos, pois permitiam o aporte de material rico em nutrientes e desejáveis à agricultura das várzeas. No entanto, na atualidade, esses processos têm provocado importantes impactos ambientais negativos, com perdas materiais significativas e em alguns casos, com perdas de vidas humanas (BRASIL, 2007b).

Uma vez que encontram e impactam populações vulneráveis, as inundações acabam geralmente associadas a imagens de destruição, sendo itens recorrentes em listas como as que enumeram anualmente os eventos naturais mais nocivos ao ser humano. Em 2009, dos desastres mundiais relacionados a eventos de caráter hidrológico, 80% foram inundações, com aproximadamente 50 milhões de pessoas afetadas. Nos dois anos seguintes, tanto em 2010 quanto em 2011, dos dez eventos com maior número de vítimas, seis foram classificados como inundações. Esta última foi o evento anual mais abrangente também em 2012, tendo atingido 17,4 milhões de pessoas no mês de junho na China. Nesse mesmo ano, a Austrália calculou prejuízo de aproximadamente US\$ 500 milhões, enquanto que o Reino Unido somou mais de US\$ 2 bilhões em perdas relacionadas em ambos os casos à ocorrência de inundações (VOS et al., 2010; GUHA-SAPIR et al., 2011; GUHA-SAPIR et al., 2012; GUHA-SAPIR ET AL., 2013 apud BATISTA, 2015).

No Brasil, o cenário não é muito diferente, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED UFSC, 2013) mostra através de números e mapas temáticos um panorama nacional dos desastres entre os anos 1991 e 2012. Nesse intervalo de vinte e um anos, o aumento da frequência de tal evento foi evidente, com 20% das ocorrências registradas na década de 1990, e 80% correspondendo à década de 2000.

Segundo Batista (2015) em Pernambuco, o registro de eventos de enchentes e inundações é extenso e com amplo histórico de destruição. Neste século, chuvas fortes deixaram sua marca nos anos 2000, 2004, 2005, 2010 e 2011, levando diversos municípios a decretarem situação de emergência.

A seguir serão apresentados aspectos conceituais retirados do Curso de Capacitação Gestão e Mapeamento de Riscos Socioambientais (BRASIL, 2010) sobre os processos e termos relacionados ao entendimento desses fenômenos tão recorrentes em todo o planeta.

3.1.1 - Enchente

Enchente ou cheia pode ser definida como elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devida ao aumento da vazão ou descarga.

Enchente é um fenômeno natural que ocorre nos cursos de água em regiões urbanas e rurais. Ela consiste na elevação dos níveis de um curso de água, seja este de pequena (córrego, riacho, arroio, ribeirão) ou de grande (rio) dimensão. Não existe rio sem ocorrência de enchente (BRASIL, 2007b).

3.1.2 - Inundação

Inundação pode ser definida como o fenômeno de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio.

As inundações afetam assentamentos urbanos de todos os tipos, desde pequenos vilarejos e cidades de médio porte e centros de negócios. Entretanto, há diferenças fundamentais entre inundações rurais e urbanas. Embora a inundação rural possa afetar áreas muito mais

extensas e atingir segmentos mais pobres da população, as inundações urbanas são mais onerosas e difíceis de gerenciar (JHA et al., 2012)

Para Ramos (2009) as cheias e inundações são fenômenos hidrológicos que não é possível evitar, e que podem ser potencialmente perigosos, dependendo da magnitude atingida (altura da água), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem. Contudo, só provocam situações de risco se houver elementos a elas expostos (população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades econômicas), ou seja, localizados em áreas inundáveis, que possam ser destruídos ou gravemente danificados.

Ainda segundo Ramos (2009) as inundações podem ser devidas a várias causas e podem ser divididas em diversos tipos (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Tipos de inundações e suas causas no Planeta.

| Tipo | Causa |
|---|---|
| Inundação fluvial | <ul style="list-style-type: none"> • Chuvas abundantes e/ou intensas • Fusão da neve ou do gelo • Efeito combinado chuva + efeito das marés e/ou + storm surge • Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos |
| Inundação de depressões topográficas | <ul style="list-style-type: none"> • Elevação do lençol freático (natural ou artificial*) • Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida • Enchentes |
| Inundação costeira | <ul style="list-style-type: none"> • Storm surge • Tsunami ou maremoto • Subida eustática do nível do mar • Sismos com fenômenos de subsidência tectônica |
| Inundação urbana | <ul style="list-style-type: none"> • Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais • Elevação do lençol freático (natural ou artificial*) • Enchentes |

* A inundação devida à elevação do lençol freático de origem artificial deve-se, neste caso, essencialmente à irrigação e a fins da atividade de indústrias extrativas.

Fonte: Ramos (2009).

Para Castro (2003) existem dois tipos de inundações que devem ser levadas em consideração, as inundações bruscas e as graduais. As inundações graduais ocorrem quando a água se eleva de forma lenta e previsível, mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo, e a seguir escoam-se gradualmente. Citando os rios Amazonas, Nilo, e Mississipi como exemplos, o mesmo autor mencionou que este tipo de inundação possui uma sazonalidade (periodicidade). Aparentemente, essa inundação não é tão violenta, mas sua área de impacto é extensa. Por outro lado, popularmente conhecida como enxurrada, a inundação brusca ocorre devido a chuvas intensas e concentradas, principalmente em regiões de relevo acidentado. A

elevação dos caudais é súbita e seu escoamento é violento. Ela ocorre em um tempo próximo ao evento da chuva que a causa. A elevação das águas ocorre repentinamente, causando mais mortos, apesar da área de impacto ser bem menor do que as inundações graduais.

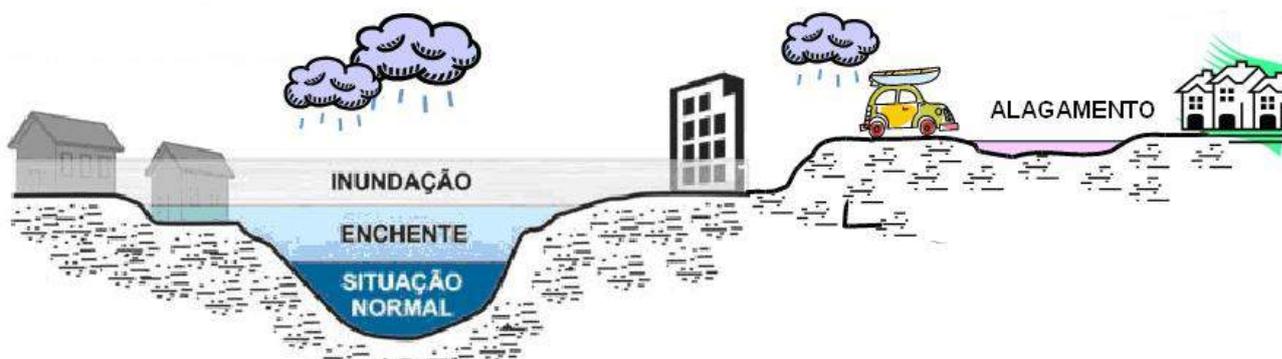
3.1.3 - Planície de inundação

Definem-se como planície de inundação as áreas relativamente planas e baixas que, de tempos em tempos, recebem os excessos de água que extravasam do seu canal de drenagem. Tecnicamente, o canal de drenagem que confina um curso d'água denomina-se leito menor e a planície de inundação representa o leito maior do rio. Emprega-se o termo várzea para identificar a planície de inundação de um canal natural de drenagem.

3.1.4 - Alagamento

Define-se alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial.

Figura 3.1 – Esquema de uma situação normal, enchente, inundação e alagamento em uma cidade



Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo (2015).

Segundo Graciosa (2010) é o fenômeno caracterizado pelo extravasamento das galerias da rede de drenagem, sem a ocorrência de inundação no canal principal. O alagamento ocorre quando estas galerias não são capazes de veicular as vazões afluentes, resultando no extravasamento, ainda antes que o escoamento chegue ao canal principal. Os alagamentos são consequência do subdimensionamento da rede de drenagem, obstrução das galerias por lixo e

entulho, ou ainda, ligações irregulares de esgoto na rede de drenagem pluvial, ocasionando vazão afluyente superior à dimensionada em projeto.

3.1.5 - Enxurrada

Define-se enxurrada o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico em terrenos com alta declividade natural.

3.1.6 - Vazão

Quantidade de água que passa por uma dada seção em um canal de drenagem num período de tempo. A vazão depende da velocidade de escoamento e da área da seção transversal.

(vazão = velocidade x área)

3.1.7- Área de risco de enchente e inundação

No contexto urbano, definem-se como área de risco de enchente e inundação os terrenos marginais a cursos d'água ocupados por núcleos habitacionais precários sujeitos ao impacto direto desses fenômenos. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais.

3.1.8 - Erosão marginal

Remoção e transporte de solo dos taludes marginais dos rios provocados pela ação erosiva das águas no canal de drenagem.

3.1.9 - Solapamento

Ruptura de taludes marginais do rio por erosão e ação instabilizadora das águas durante ou logo após processos de enchentes e inundações.

3.2 - FATORES CONDICIONANTES DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES

Segundo Brasil (2010) os processos de enchentes e inundações têm como fatores condicionantes os fatores naturais e antrópicos. A frequência de ocorrência depende da tipologia e da dinâmica do escoamento superficial. Os fatores naturais podem ser: climáticos (pluviometria) e; geomorfológicos (relevo, tamanho e forma da bacia e dos vales, gradiente hidráulico do rio). Os fatores antrópicos, principalmente em áreas urbanas, têm sido grande determinante da ocorrência de enchentes e inundações, são eles: desmatamento; exposição dos terrenos à erosão, o que provoca por sua vez o assoreamento dos cursos de água; intervenções nos cursos de água; ocupação desordenada dos terrenos marginais.

3.2.1 - Fatores naturais

A precipitação, principal fenômeno gerador de enchentes, é gerada por condições meteorológicas que não podem ser controladas e podem ocorrer de forma aleatória no tempo e no espaço. Em longo prazo, a sua ocorrência e sua magnitude não podem ser previstas, mas estimadas em função dos dados históricos disponíveis e das alterações que ocorrem no uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica (BRASIL, 2007b).

De acordo com Ramos (2009) as chuvas podem ser de dois tipos: ou são contínuas e prolongadas, podendo até não atingir grande intensidade (originam neste caso cheias lentas e a subida do lençol freático, com inundação de áreas deprimidas), ou são concentradas no tempo e no espaço, mas de grande intensidade (dando origem às cheias rápidas e às inundações urbanas).

Mudança climática é outra tendência global de larga escala percebida como tendo impacto significativo sobre o risco de inundação. As alterações nos padrões meteorológicos que

estão associados com um clima mais quente são potencialmente causadoras de maiores inundações bem como impactos diretos e indiretos associados (JHA et al., 2012).

Tucci (2003) elenca que a cobertura vegetal tem como efeito a interceptação de parte da precipitação que pode gerar escoamento e assim protege o solo contra a erosão. A perda desta cobertura tem produzido como consequência processos erosivos, assoreamento dos rios que repercutem no aumento da frequência de inundações.

As características do solo também influenciam neste processo, para uma dada chuva, quanto maior a capacidade de infiltração do solo, menor o escoamento superficial resultante. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, isto é, quanto mais permeável for o solo, maior será a velocidade do escoamento da água subterrânea e, em consequência, maior a quantidade de água que ele poderá absorver pela superfície por unidade de tempo. Assim, ao aumento da permeabilidade do solo corresponde uma diminuição do volume do escoamento superficial e consequentemente diminui a probabilidade de uma inundação (Lima, 2010).

Vedovello (1996) cita que o conhecimento das características do relevo, como amplitude, declividade e a forma das encostas, é essencial para a compreensão dos processos de inundação. Botelho (2005) destaca que algumas características essenciais da paisagem devem ser identificadas, pois influenciam no processo, tais como ambientes de acumulação e transporte, afloramentos rochosos, depósitos de talús, rampas de colúvio, terraços, planícies de inundação, feições antrópicas, etc.

Os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras, áreas com grandes declividades produzindo escoamento de alta velocidade. A variação de nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é acidentado as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam maior risco de inundação. A várzea de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas (TUCCI, 2003).

3.2.2 - Fatores antrópicos

A urbanização mal planejada e gerida também contribui para o perigo crescente de inundação devido à mudança inadequada do uso do solo. Enquanto as cidades incham e crescem para acomodar o aumento populacional, a expansão urbana em larga escala ocorre frequentemente na forma de desenvolvimento não planejado, em áreas alagáveis costeiras e para o interior dos países, bem como em outras áreas sujeitas a inundações (JHA et al., 2012).

De acordo com Neves (2008) o crescimento urbano brasileiro, no qual o planejamento territorial tem sido falho, produziu um aumento caótico na frequência das inundações, à medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas (em até sete vezes) devido à impermeabilização e canalização de rios e córregos.

As interferências e intervenções marcantes do ser humano nas áreas urbanas produzem impactos diretos tanto para o próprio local como para a população. Tais impactos, segundo Moretti (2004 apud Reis, 2011), são o aumento da vazão, em decorrência da impermeabilização; redução da vazão dos cursos d'água nos períodos de estiagem; aumento da erosão; aumento da quantidade de sedimentos presentes na água; presença de lixo diretamente nos cursos d'água ou carreado pelos sistemas de captação das águas pluviais; e presença de esgotos, oriundos das redes de coleta e de lançamentos irregulares nos sistemas de drenagem de águas pluviais. Dessa maneira, as ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos se manifestam mais frequentemente e com maiores consequências.

Para Tucci (2003) além de todos os impactos acima citados há diversas outras ações humanas que podem favorecer o extravasamento dos rios, tais como a formação de aterros, as canalizações e as construções de pontes. As próprias obras de controle de drenagem muitas vezes se tornam prejudiciais, resolvendo o problema no local, mas transferindo para outro ponto da bacia.

Os níveis atuais e projetados de impactos de inundações implicam na necessidade de tornar a gestão de risco de inundações em assentamentos urbanos uma prioridade na agenda política e de elaboração de políticas. Compreender as causas e efeitos dos impactos das inundações e projetar, investir e implementar medidas que os minimizem devem tornar-se parte do pensamento corrente de desenvolvimento e estar incluídos nos objetivos mais amplos de desenvolvimento (JHA et al., 2012).

DESASTRES E MAPEAMENTO DE RISCO

Neste capítulo são apresentadas às definições dos principais termos utilizados em estudos relacionados a desastres, bem como, um panorama dos desastres no Brasil e o aumento de ocorrências nos últimos 20 anos, denotando a necessidade de mapeamentos de risco serem mais efetivos e disseminados no país. Desta forma é apresentada uma revisão das metodologias de mapeamentos difundidas no Brasil, bem como, experiências metodológicas anteriores desenvolvidas pela UFPE. Além da abordagem do gerenciamento do risco através de medidas estruturais e não estruturais.

4.1 - DESASTRES

Os desastres são responsáveis por expressivos danos e perdas, de caráter social, econômico e ambiental, e têm apresentado uma recorrência e impactos cada vez mais intensos, o que os cientistas sugerem já ser resultado das mudanças climáticas globais. Fenômenos, tais como, inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades, estiagem, entre outros, juntamente ao acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas, em várias partes do mundo, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais (TOMINAGA, et al., 2009).

Segundo a UNISDR (2009) se considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos.

Observou-se uma tendência global para o significativo incremento do número de desastres a partir da década de 70. Diante deste quadro a década de 1990 foi declarada pelas Nações Unidas, como a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais (International Decade for Natural Disaster Reduction – IDNDR), dedicada à promoção de

soluções para redução do risco decorrente de perigos naturais, fortalecendo os programas de prevenção e redução de acidentes naturais. Uma das ações derivada da IDNDR foi a implantação da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (International Strategy for Disaster Reduction – ISDR), voltada para promover maiores envolvimento e comprometimentos públicos, disseminação de conhecimentos e parcerias para implementar medidas de redução de riscos (KOBAYAMA et al., 2006).

Em 1994, ocorreu a Primeira Conferência Mundial sobre Redução de Desastres em Yokohama, onde foi aprovado um Plano de Ação 1994-2004 para dar continuidade nos avanços gerados pela IDNDR. A Segunda Conferência, em Kobe (2005), aprovou o Marco de Ação de Hyogo “Construindo a resiliência das nações e comunidades frente aos desastres 2005-2015”, almejando reduzir consideravelmente as perdas em termos de vidas e de bens sociais, econômicos e ambientais das comunidades. Em março de 2015, na Terceira Conferência em Sendai, foi aprovado o “Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030”, tendo como prioridades: compreender os riscos de desastres; fortalecer a governança dos riscos para seu gerenciamento; investir na redução dos riscos para resiliência; e melhorar a preparação para desastres a fim de obter resposta eficaz de recuperação, reabilitação e reconstrução (CANIL, 2016).

Quanto à classificação as mais utilizadas distinguem os desastres quanto à origem e à intensidade. A origem ou causa primária do agente causador, os desastres podem ser classificados em: naturais ou humanos (antropogênicos). *Desastres Naturais* são aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independentemente da ação humana. Em geral, considera-se como desastre natural todo aquele que tem como gênese um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana. Exemplo: chuvas intensas provocando inundação, erosão e escorregamentos; ventos fortes formando vendaval, tornado e furacão; etc. *Desastres Humanos ou Antropogênicos* são aqueles resultantes de ações ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Exemplos: acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens, etc. (MARCELINO, 2008).

Em relação a intensidade segundo Kobiyama et al., (2006) são apresentados os seguintes níveis de intensidade no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Classificação dos desastres em relação à intensidade.

| NÍVEL | INTENSIDADE | SITUAÇÃO |
|-------|---|--|
| I | Desastres de pequeno porte, também chamados de acidentes, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal) | Facilmente superável com os recursos do município. |
| II | De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal) | Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial. |
| III | De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal) | A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE) |
| IV | De muito grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% PIB municipal) | Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP) |

Fonte: Kobiyama et al., (2006).

Um ponto de grande controvérsia entre os especialistas são os parâmetros utilizados para mensurar a magnitude de um desastre. Considerar números absolutos, como mortes e pessoas afetadas, mostra claramente uma situação, porém quando os impactos são elevados observa-se a continuidade do desastre. Neste sentido, o desastre se perpetua por um tempo, por meio de situações como ausência de opções de moradia para desabrigados; abrigos temporários em condições precárias e que se tornam uma solução habitacional por anos; problemas de saúde como doenças de veiculação hídrica; problemas psicossociais; e capacidade de reconstrução limitada pela recorrência de determinados desastres, como é o caso de municípios que sofrem inundações anuais nos mesmos pontos (SAUZEN E LACRUZ, 2015).

O conhecimento dos tipos de desastres e de suas classificações facilita a tomada de decisões específicas e direcionada, assim como o encaminhamento rápido e eficiente de profissionais para atender a população em uma situação de desastre. Para tanto, é necessário compreender os desastres naturais que afetam as populações no intuito de serem propostas medidas efetivas para reduzir os danos materiais, humanos e ambientais. (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Em escala mundial, destaca-se o banco de dados desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres (CRED), da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), conhecido como Emergency Events Database (EM-DAT), que organiza dados de desastres naturais e tecnológicos de países de todos os continentes. Para ser computado no EM-DAT,

pelo menos um destes critérios deve ser atendido: 10 ou mais vítimas fatais; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência; e pedido de auxílio internacional (BANDEIRA, 2010). Para adequar a classificação brasileira aos padrões estabelecidos pela ONU e acompanhar a evolução internacional e o nivelamento do país aos demais organismos de gestão de desastres, foi instituída em agosto de 2012 a COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (BRASIL, 2012). A Tabela 4.1 apresenta esta classificação para os riscos geológicos e hidrológicos (temas deste trabalho), porém esta codificação ainda inclui os grupos meteorológico, climatológico e biológico.

Tabela 4.1 – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE

| GRUPO | SUBGRUPO | TIPO | SUBTIPO | COBRADE |
|---------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 1. Geológico | 1. Terremoto | 1. Tremor de Terra | 0 | 1.1.1.1.0 |
| | | 2. Tsunami | 0 | 1.1.1.2.0 |
| | 2. Emissão vulcânica | 0 | 0 | 1.1.2.0.0 |
| | 3. Movimentos de Massa | 1. Quedas, Tombamentos e Rolamentos | 1. Blocos | 1.1.3.1.1 |
| | | | 2. Lascas | 1.1.3.1.2 |
| | | | 3. Matacões | 1.1.3.1.3 |
| | | | 4. Lajes | 1.1.3.1.4 |
| | | 2. Deslizamentos | 1. Deslizamentos de solo e/ou rocha | 1.1.3.2.1 |
| | | 3. Corridas de massa | 1. Solo/Lama | 1.1.3.3.1 |
| | | | 2. Rocha/Detrimento | 1.1.3.3.2 |
| | 4. Subsídências e colapsos | 0 | 1.1.3.4.0 | |
| | 4. Erosão | 1. Erosão Costeira/Marinha | 0 | 1.1.4.1.0 |
| | | 2. Erosão de Margem Fluvial | 0 | 1.1.4.2.0 |
| | | 3. Erosão Continental | 1. Laminar | 1.1.4.3.1 |
| | | | 2. Ravinas | 1.1.4.3.2 |
| | | | 3. Boçorocas | 1.1.4.3.3 |
| | 1. Inundações | 0 | 0 | 1.2.1.0.0 |
| | 2. Enxurradas | 0 | 0 | 1.2.2.0.0 |
| | 3. Alagamentos | 0 | 0 | 1.2.3.0.0 |

Fonte: SEDEC (2012).

Macedo (2008) aponta que o foco dos trabalhos em desastres deverá ser o da adaptação das nossas ações e da realidade de nossas cidades às mudanças climáticas. Que esta adaptação deve ser entendida como avanço e melhoria nas medidas adotadas para minimizar os efeitos

adversos na economia, saúde pública e na qualidade ambiental. No caso dos processos que afetam as áreas urbanas, principalmente inundações e deslizamentos, está se falando em adaptações no ambiente construído e na infraestrutura das nossas cidades.

4.1. 1 - Desastres no Brasil

Segundo Brasil (2006) os escorregamentos e inundação são os principais fenômenos associados a desastres no Brasil, e estão ligados a intensas e prolongadas chuvas. As inundações são os processos que causam maiores impactos na economia e saúde pública, no entanto são os escorregamentos que envolvem o maior número de vítimas fatais.

No mundo inteiro, verificam-se anualmente perdas de vidas humanas em decorrência tanto de escorregamentos de grande porte como de eventos mais localizados. No Brasil, as perdas dessa natureza ocorrem predominantemente em áreas urbanas tendo tido um incremento considerável a partir da década de 80 (VEDOVELLO e MACEDO, 2007). Além das perdas de vidas, a ocorrência de deslizamentos em áreas urbanas acarreta danos às propriedades e aos equipamentos de infraestrutura urbana. Conseqüentemente, ocorrem efeitos sociais e econômicos adversos que incluem: interrupção de atividades sociais e econômicas, interrupção de vias públicas e rotas de transporte; custos com obras para reparação de estruturas viárias e de abastecimento; sobrecarga dos setores de saúde, de assistência social, de atendimento emergencial, e custos médicos, entre outros.

De acordo com Brasil (2010) em linhas gerais, o problema de áreas de risco geológico e hidrogeológico nas cidades brasileiras podem ser sintetizados pelos itens abaixo:

- Crise econômica e social com solução em longo prazo;
- Política habitacional para baixa renda historicamente ineficiente;
- Ineficácia dos sistemas de controle do uso e ocupação do solo;
- Inexistência de legislação adequada para as áreas suscetíveis;
- Inexistência de apoio técnico para as populações;
- Cultura popular de “morar no plano”.

Quanto à organização dos desastres ocorridos no Brasil pela SEDEC, a primeira edição do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (SANTA CATARINA, 2012) apresenta os dados consolidados da ocorrência de desastres registrados em documentos oficiais produzidos por Estados e Municípios Brasileiros, de 1991 a 2010. O documento permite identificar os desastres mais incidentes em cada região brasileira, conhecer a quantidade de pessoas afetadas e comparar as ocorrências no decorrer dos anos. O registro destes desastres realizou-se da seguinte maneira: emissão do NOPRED (Formulário de Notificação Preliminar de Desastre)

e/ou AVADAN (Formulário de Avaliação de Danos) pelo município; oficialização do desastre pelo prefeito, por meio de um Decreto Municipal; homologação do Decreto Municipal pelo Ministério da Integração Nacional ou pela Secretaria Nacional de Defesa Civil; e publicação de uma Portaria no Diário Oficial da União a fim de tornar pública e reconhecida uma situação de emergência ou estado de calamidade pública (SANTA CATARINA, 2012).

De acordo com as informações compiladas no Atlas, de 1991 a 2010 verificou-se que:

- a) A região Sul foi a mais afetada por inundações bruscas e alagamentos, responsável por 36,57% das ocorrências deste tipo de desastre no Brasil, com pico nos meses de janeiro;
- b) Em termos de inundação gradual, 31,55% das ocorrências foram registradas na região Sudeste, seguidas pela região Nordeste (28,04%) e Sul (22,65%);
- c) Quanto aos movimentos de massa, a região Sudeste apresentou 81,72% das ocorrências, seguida pela região Sul (12,33%). No Sudeste foram registrados 500 óbitos e mais de 1,8 milhões de pessoas afetadas.

Para os anos de 2011, 2012 e 2013, os dados consolidados de desastres naturais registrados em documentos oficiais (AVADAN e NOPRED), Decretos de Declaração de Estado de Calamidade Pública (ECP) ou de Situação de Emergência (SE), Portarias de Reconhecimento Federal e informações coletadas junto às Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil (CEDECs), estão compilados em três edições do Anuário Brasileiro de Desastres Naturais.

No ano de 2011, 69,01% das ocorrências de movimentos de massa foram registrados na região Sudeste, seguido pela região Sul com 25,35% dos acontecimentos. Os números estão concentrados nos meses de janeiro e fevereiro, no verão, que é a estação caracterizada por ter níveis mais elevados de precipitação nestas regiões. Quanto às inundações, 46,75% foram registradas no Sudeste, 21,30% no Sul e 16,57% na região Nordeste com 71 óbitos na região Sul, de um total de 79. 62.

De acordo com o anuário referente ao ano de 2012, 91,89% das ocorrências vinculadas aos movimentos de massa foram registradas na região Sudeste, com 59,46% dos casos no estado de Minas Gerais; 39,47% das inundações foram registradas no Norte e 47,31% das enxurradas no Sudeste. Em 2013, constatou-se que a região Sudeste incorporou 84,62% da totalidade dos deslizamentos de terra, sendo 53% das ocorrências no estado de Minas Gerais, seguindo a tendência verificada em 2012. O maior número de registros de inundações deu-se na região Sul (33,33%), seguida pelas regiões Norte (27,45%) e Sudeste (25,98%).

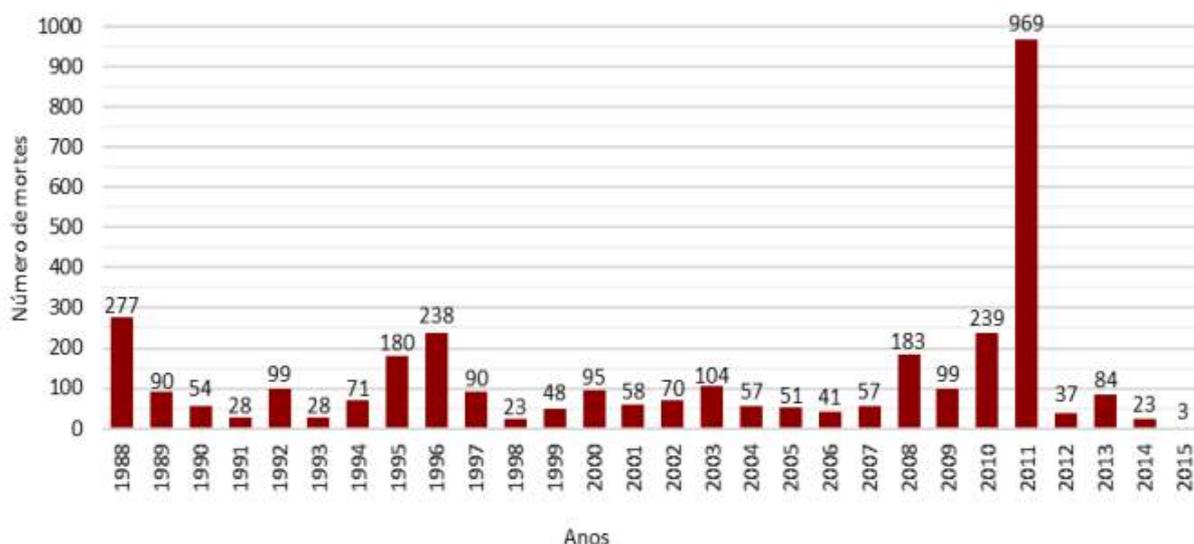
Em quase todos os registros, a quantificação de danos humanos prevaleceu em número maior no Sudeste, justificado pela alta densidade demográfica da região. De acordo com a Atlas,

é possível afirmar que a densidade populacional caminha na mesma proporção de mortos por milhão de habitantes

Em 2010, a cheia do Rio Mundaú atingiu 97 municípios nos Estados de Pernambuco e 9 de Alagoas, desabrigou ou desalojou mais de 150 mil habitantes e provocou a morte de 47 pessoas. No ano seguinte, os deslizamentos e enxurradas ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro provocaram o maior desastre do país em número de mortes, foram cerca de 900, além de aproximadamente 350 pessoas desaparecidas (BERTONE E MARINHO, 2013).

Diante da necessidade de se ter uma base de dados atualizada sobre os eventos que já ocorreram, conhecendo a localização geográfica, época/período, número de fatalidades e outros dados relevantes, o IPT iniciou em 1988 um projeto para catalogar os eventos de movimentos de massa para se ter uma ideia da realidade brasileira e fornecer números para auxiliar na gestão de riscos. Segundo Macedo e Martins (2015), este banco de dados é pioneiro no país e o único nestes moldes, sendo utilizado pelo poder público para analisar a distribuição de recursos para a prevenção de desastres nos municípios. Conforme os autores, a Figura 4.1 apresenta os dados cadastrados no Banco de Mortes por ano de ocorrência. Nota-se que existem casos anômalos ao longo do tempo e entre toda a distribuição o ano de 2011 é o mais relevante, com número de mortes muito superior. Isto se deve ao evento extremo que atingiu a região Serrana do Rio de Janeiro.

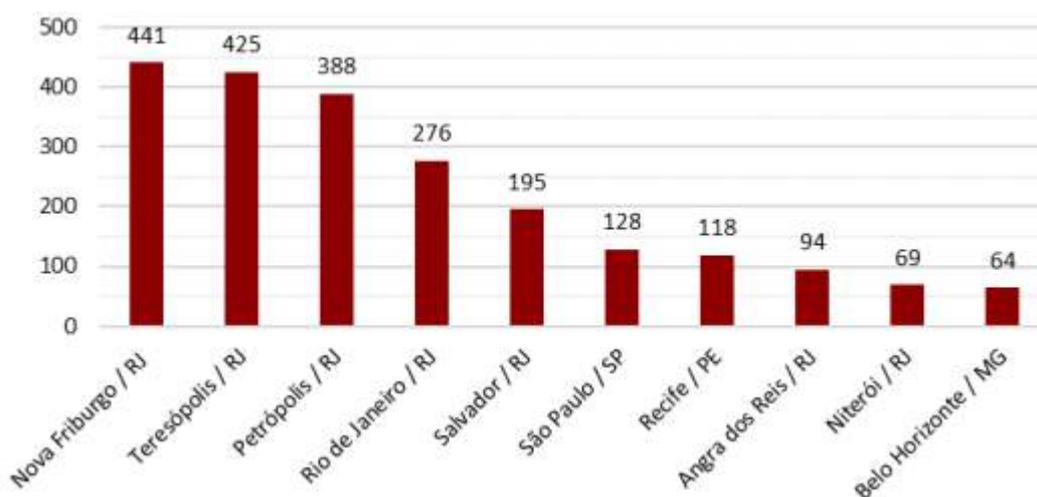
Figura 4.1 – Gráfico de distribuição de mortes por deslizamento no decorrer dos anos, entre 1988 e abril de 2015.



Fonte: Macedo e Martins (2015)

São contabilizados, também, os óbitos em deslizamentos por estados. Em ordem decrescente, tem-se os oito primeiros: Rio de Janeiro (1819), São Paulo (422), Minas Gerais (332), Bahia (209), Santa Catarina (206), Pernambuco (189), Alagoas (76) e Espírito Santo (66). Quanto aos municípios, os dez que apresentam maior número de fatalidades entre 1988 e abril de 2015 são os apresentados na Figura 4.2. O Estado de Pernambuco é o 6º em número de mortes por deslizamentos e dentre os municípios brasileiros Recife encontra-se em 7º lugar.

Figura 4.2 – Relação dos 10 municípios que apresentaram maior número de óbitos entre 1988 e abril de 2015.



Fonte: adaptado de Macedo e Martins (2015).

Para Macedo e Martins (2015), os eventos de movimentos de massa que geram mortes apresentam distinção entre si, como por exemplo a frequência em que ocorrem em determinadas regiões. Como exemplo, em alguns estados os eventos são frequentes e possuem um pequeno número de vítimas (Minas Gerais); em outros ocorrem eventos extremos de menor frequência e grande número de vítimas (Santa Catarina); e ainda há localidades em que ocorrem ambos os tipos de eventos, alta frequência e poucas fatalidades e frequência menor com grande número de vítimas (Rio de Janeiro). Os autores mencionam a tendência de a cada 6 ou 7 anos ocorrerem eventos mais críticos, relacionando-os com o El Niño ou La Niña.

4.1.1.1 Movimentos de massa e inundações na Região Metropolitana do Recife

Segundo dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a Região Metropolitana do Recife (RMR) possui uma área de 2766,9 km² com aproximadamente 3,7 milhões de habitantes sendo 94% residentes em área urbana, composta por 14 municípios:

Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata.

A partir de 1940, a paisagem da RMR começou a passar por transformações urbanísticas devido à explosão demográfica e a consequente ocupação dos espaços vazios entre as principais vias de ligação. A urbanização acelerada fez com que os bairros e municípios perdessem seus limites, ligando-se por contínuas composições de quadras, ruas e edificações, se espalhando na planície e sobre os morros, desordenadamente, constituindo nos altos e nos córregos grandes assentamentos populacionais das cidades. Conforme Bandeira (2010), os municípios de Recife, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes apresentam maiores números de pessoas morando em áreas de risco a deslizamento e inundação.

A ocupação dos morros da RMR, é um processo que se desenvolve desde o período colonial e que se iniciou nas cidades de Recife e Olinda e, em geral, pela população de baixa renda. Há muitos anos a região sofre com a ocorrência de deslizamentos, porém, esse problema se tornou mais grave a partir da década de 80, quando foram registradas dezenas de escorregamentos na zona norte da cidade de Recife. Tem sido observado que os deslizamentos de encostas na RMR são rasos, em sua maioria, e a superfície de ruptura é translacional, paralela ao talude. A chuva e a forma de ocupação das encostas são os principais fatores que contribuem para as ocorrências dos movimentos de massa e dos processos erosivos, sendo a erosão hídrica pluvial e os escorregamentos planares os principais processos de instabilização das encostas (Gusmão, 1997).

Além dos deslizamentos, a RMR sofre com problemas de inundação, alagamentos e enchentes devido a diversos fatores, entre eles: áreas planas fortemente urbanizadas; regiões situadas a nível do mar; ocupação das áreas de risco à inundação e de encostas, aumentando a descarga da inundação; ocorrência de chuvas intensas; lençol freático elevado; redução da capacidade de escoamento dos corpos d' água; deficiência de projeto, construção e manutenção da rede de drenagem; risco de operação das barragens de contenção de cheias; e falta de educação ambiental por parte da população.

Na RMR, desde a década de 60, foram as inundações que causaram maior número de vítimas fatais, apesar de os escorregamentos acontecerem com mais frequência, normalmente em locais isolados e atingindo poucas edificações e pessoas em uma mesma ocorrência. Bandeira (2010) apresenta que a região possui registros de deslizamentos com vítimas em maior concentração nos municípios de Recife, Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes. Em

Olinda, os deslizamentos colocam em risco também os patrimônios históricos e artísticos, representados por igrejas e monumentos localizados em áreas de encostas e topos de colinas.

Devido a elevada quantidade de vítimas por estes processos, o poder público deu início a implantação de sistemas de gerenciamento de risco, dentre os quais podem ser citados o “Programa Metropolitano Viva o Morro”, criado em 1997 pela CONDEPE-FIDEM, gerenciando ações estruturais e não estruturais nas encostas e alagados; o “Programa GuardaChuva”, implantado em 2001 pela Defesa Civil, gerenciando os riscos da cidade; e o programa “Parceria nos Morros” (2001), uma das frentes de trabalho das operações de inverno que disponibiliza material de construção e acompanhamento técnico para que os próprios moradores entrem com a mão de obra para construções de pequeno porte.

4.2 - CONCEITOS GERAIS DE ANÁLISE DE RISCO E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO BRASILEIRAS

No processo de gerenciamento de risco, a nível internacional a UNDRP (1991) deu importante contribuição sugerindo quatro principais etapas para a gestão do risco (Bandeira e Coutinho, 2012b):

- Identificação e análise de riscos;
- Adoção de medidas estruturais para a prevenção de acidentes e a redução dos riscos;
- Adoção de medidas não estruturais com implantação de planos preventivos de defesa civil para os períodos das chuvas mais intensas, monitoramento e atendimento das situações de emergência;
- Informação pública e capacitação para prevenção e autodefesa.

Os principais anais internacionais de conferência sobre gerenciamento de áreas de riscos de deslizamentos de encostas (Landslide Risk Management) apresentam três grandes principais etapas no processo de gerenciamento (Fell Hartford, 1995; Coutinho e Bandeira, 2012a):

- Análise de risco (Risk Analysis);
- Avaliação do risco (Risk Assessment);
- Gerenciamento do risco (Risk Management).

Estas etapas de gerenciamento foram absorvidas por vários países, inclusive pelo Brasil, onde era evidente que o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil se encontrava inadequado para atender aos desastres que vinham ocorrendo.

Uma iniciativa importante a nível nacional foi a criação do Ministério das Cidades (2003), onde a análise de risco se tornou uma estratégia política que vem disponibilizando

subsídios aos municípios para a elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR), que constam da análise e mapeamento, proposta de intervenção e estimativa de recursos necessários para mitigar ou reabilitar áreas de risco a movimentos de massa (ALHEIROS, 2011).

Em 10 de abril de 2012 foi criada a Lei Federal Nº 12.608 (novo marco legal para o Sistema Nacional de Defesa Civil), que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a qual dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CENPDEC), sendo um instrumento de redução de risco de desastres.

Dentre as diretrizes e objetivos da PNPDEC, destaca-se:

- a) Atuação articulada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios para redução de desastres e apoio às comunidades atingidas;
- b) Ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação;
- c) Reduzir os riscos de desastres;
- d) Prestar socorro e assistência à população atingida por algum desastre;
- e) Promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir a sua ocorrência;
- f) Monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres.

De acordo com Bertone e Marinho (2013), paralelamente aos ajustes para a publicação do novo marco da Defesa Civil, elaborava-se o Programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres do PPA 2012-2015 (Programa 2040), ressaltando-se a importância de voltar os esforços para o campo da prevenção. A estruturação dos trabalhos pautou-se na identificação dos principais desastres que ocorrem no país e na seleção de municípios mais críticos a esses eventos, de modo a priorizar a ação pública. Chegou-se ao número de 821 municípios que representam 94% das mortes e 88% das pessoas afetadas por algum desastre.

A fim de implementar as diretrizes é que surgiram as parcerias e convênios junto ao Ministério da Integração Nacional, para o mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundação dos municípios, contemplando estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades, riscos de desastres e proposta de ações de mitigação, preparação, resposta e recuperação. Uma das parcerias firmadas pelo Ministério da Integração Nacional é com a UFPE / GEGEP, cujo projeto é referência para este trabalho.

Com o crescente registro de incidentes de movimentos de massa e inundações decorrentes do ritmo acelerado de ocupação em áreas de encostas e várzeas, há uma enorme

demanda por trabalhos de mapeamento destes locais. É essencial que autoridades tenham à sua disposição mapas adequados descrevendo as áreas de risco e também é importante que estejam cientes dos processos que levam à identificação destes locais (JTC-1, 2008).

Conforme Brasil (2007), o gerenciamento de áreas urbanas com risco de deslizamentos, enchentes e inundações tem como base quatro questões, a partir das quais o trabalho é desenvolvido. A primeira é relativa ao tipo de processo a ser mapeado, deve-se verificar quais são presentes e como eles ocorrem, identificando os seus condicionantes naturais e/ou antrópicos. Definidos os processos, o mapeamento sinalizará onde estes ocorrem e, por meio de estudos de correlação e monitoramento, serão definidos os momentos de maior probabilidade de deflagração do processo. Sabendo o tipo de processo, como, onde e quando ele poderá ocorrer, serão definidas as medidas a serem tomadas, sejam de caráter estrutural ou não e quem será o responsável por elas.

O mapa de risco é um importante instrumento de política pública de gerenciamento para o governo, que permite hierarquizar os problemas, avaliar os custos de investimentos e dar suporte às negociações com a comunidade. O Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo podem definir o destino das áreas de risco através das diretrizes para uma urbanização controlada, garantindo segurança e bem-estar social, impedindo o aumento da vulnerabilidade da área. O mapa pode ser utilizado com os seguintes propósitos: instrumento de planejamento urbano; definição de áreas prioritárias para intervenções em base técnica, e não política; definição do sistema de controle nos pontos críticos; definição do tipo de tratamento da área em função do processo atuante; instrumento de negociação com as comunidades e órgãos de financiamento e orçamento de intervenções estruturais (BRASIL, 2010).

4.2.1 - Definições e terminologias adotadas na avaliação do risco

A partir da nomenclatura internacionalmente aceita, vários conceitos básicos a respeito de risco têm sido testados e colocados em prática em diferentes contextos, por mais de 30 anos. Varnes (1984) definiu os seguintes termos:

- Perigo Natural (Natural Hazard - H): probabilidade de ocorrência de um fenômeno dentro de um certo período de tempo e de uma determinada área (susceptibilidade);
- Vulnerabilidade (Vulnerability – V): grau de perda de um determinado elemento ou um conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural;
- Risco Específico (Specific Risk – RS): que corresponde ao grau esperado de perda devido a um fenômeno natural ($RS = V \times H$);

- Elementos em Risco (Elements at Risk – E): são relativos à população, propriedades e atividades econômicas, incluindo serviços públicos em risco em uma dada área;
- Risco (Risk – R), refere-se ao número esperado de perdas de vidas, de pessoas afetadas, danos a propriedades ou interrupção de atividades econômicas devido a um fenômeno natural específico. ($R = E \times RS$).

Portanto, o Risco pode ser expresso pela Equação 4.1 (Varnes, 1984):

$$R = E * H * V \quad (\text{Equação 4.1})$$

Na avaliação do risco em uma determinada situação, devem ser considerados a suscetibilidade da área ao tipo de desastre em questão, o perigo potencial, o grau de exposição e a vulnerabilidade dos sistemas encontrados (BANDEIRA, 2003). Para Augusto Filho et al. (1990), os conceitos de análise de risco podem ser expressos por uma relação simples: $R = P \times C$, onde R é o risco; P é a probabilidade (se quantificada) ou frequência (F) ou possibilidade da ocorrência de um evento; ou seja, P é a suscetibilidade (S) de uma área à ocorrência de um determinado evento; e C representa as consequências sociais ou econômicas potenciais (vulnerabilidade). Para Einstein (1997), o risco é declarado através da seguinte expressão analítica (Equação 4.2):

$$R = P [\text{perigo}] * u (X) \quad (\text{Equação 4.2})$$

R = Risco;

P [perigo] = Probabilidade de ocorrência do perigo;

u (X) = Função utilidade que expressa os custos das consequências, estas sendo função do vetor atributo X que relaciona as consequências como a perda de vidas, destruição de moradias, alojamento de desabrigados, etc.

Oliveira (2004) define risco conforme a Equação 3.3:

$$R = p [\text{perigo}] * V * E \quad (\text{Equação 4.3})$$

R = Risco;

p [perigo] = Probabilidade de ocorrência do perigo numa situação de risco;

V = Vulnerabilidade dos elementos em risco; E = Elementos em risco. O risco individual foi definido como a probabilidade anual de um indivíduo identificável, que vive num setor de risco, ou seja, encontra-se

exposto às consequências de uma situação de risco vir a se tornar vítima fatal de um acidente. Neste caso, o valor de E é igual à unidade.

O Comitê Técnico de Escorregamentos e Encostas Artificiais das Associações Internacionais ISSMGE, IAEG e ISRM – Joint Technical Committee 1 – JTC-1 (2008) reconhece que existe a necessidade de uma terminologia unificada em zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco para assegurar que processos fundamentais de avaliação sejam considerados e aplicados em áreas propensas a processos do meio físico.

Para tanto, algumas das definições e terminologias adotadas pelo JTC-1 (2008) e atualmente aceitas são:

- Evento: Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registradas no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais;
- Perigo: Condição cujo potencial pode causar uma consequência indesejável. A descrição de um perigo de escorregamento deve incluir o local, volume (ou área), classificação e velocidade dos escorregamentos em potencial e materiais destes resultantes, e a probabilidade de sua ocorrência dentro de um período de tempo determinado;
- Vulnerabilidade: Grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. É expressa numa escala de zero (sem perda) a um (perda total). Para propriedades, a perda será o valor do dano relativo ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo processo;
- Suscetibilidade: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. É uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de escorregamentos que existem ou podem ocorrer em uma área, podendo também incluir uma descrição da velocidade e intensidade do escorregamento existente ou em potencial. Embora seja esperado que escorregamentos ocorrerão com mais frequência em áreas mais suscetíveis, na análise de suscetibilidade o período de tempo não é levado em conta. A suscetibilidade de escorregamentos inclui aqueles cuja origem é em sua própria área ou fora dela, mas pode se mover ou regressar para a área de origem;
- Elementos em risco: População, prédios e construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infraestrutura e valores do meio ambiente na área que é potencialmente afetada pelo perigo;

- **Risco:** Uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude multiplicado por suas consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade e consequências numa forma que não calcule o produto. Para Análise Quantitativa de Risco o uso da intensidade do processo é recomendado. O risco é definido para a perda de vida (probabilidade anual que pessoas em risco irão perder suas vidas levando em conta o perigo do processo, a probabilidade espaçotemporal e a vulnerabilidade da pessoa) e para a perda de propriedade (a probabilidade anual de um dado nível de perda ou da perda por ano levando em conta os elementos em risco, sua probabilidade e vulnerabilidade espaço-temporal);
- **Consequência:** Os resultados ou resultados potenciais que surgem da ocorrência de um escorregamento, expresso quantitativa ou qualitativamente, em termos de perda, desvantagens ou ganho, danos, lesões ou perda de vida;
- **Probabilidade:** Utilizada como a descrição qualitativa de probabilidade ou frequência. Uma medida do grau de certeza, que tem um valor entre zero (impossibilidade) e um (certeza). É uma estimativa da probabilidade da magnitude de uma quantidade incerta ou a probabilidade de ocorrência de um evento no futuro;
- **Controle ou Tratamento de Risco:** O processo de tomada de decisão para gerenciamento de risco e a implementação de medidas de mitigação de risco e re-avaliação de sua eficácia de tempos em tempos, utilizando os resultados da avaliação de risco como um dado.

Para complementar, além das terminologias citadas pelo JTC-1 (2008), adota-se a conceituação de “desastre” da UN-ISDR (2009), apresentada no início deste Capítulo. Quanto ao conceito de “vulnerabilidade”, Cardona (2008) aborda que não deve ser considerada somente através da exposição dos elementos, mas juntamente com as fragilidades sociais e a capacidade da sociedade atingida por um fenômeno perigoso responder ao seu impacto.

A partir dos conceitos abordados, neste trabalho a definição de risco adotada apresentasse na Figura 4.3, onde o risco é resultado da associação entre perigo e consequências (COUTINHO, 2015). Devido à dificuldade de se obter alguns parâmetros relacionados a perigo (como por exemplo a intensidade, probabilidade e recorrência – que necessita de bases históricas), usualmente adota-se a identificação da suscetibilidade a determinado processo, de acordo com suas condicionantes. Para a obtenção das consequências, são associados os fatores

de vulnerabilidade (físico-ambientais, socioeconômicos e culturais e falta de resiliência) aos elementos expostos (edificações e arredores, infraestrutura, população, etc.).

Figura 4.3 - Definição de risco



- **RISCO: PERIGO X CONSEQUÊNCIAS f (V – E)**
- **VULNERABILIDADE = f** [fatores físico-ambientais + fatores socioeconômicos e culturais e falta de resiliência]
- **ELEMENTOS EXPOSTOS = E** [características e localização: edificações e arredores, população, infraestrutura, etc...]

Coutinho (2015)

Fonte: Coutinho (2015).

4.2.1.1 - Aspectos Gerais sobre Vulnerabilidade

Quando se trata de mapeamento de risco muitos trabalhos estão relacionados apenas a fatores de suscetibilidade e como este, tem como um dos seus objetivos determinar a vulnerabilidade na área de estudo, para isto se faz conveniente uma maior abordagem acerca deste assunto como também um melhor entendimento das relações intrínsecas à vulnerabilidade e à importância de metodologias ligadas ao tema.

De acordo com Saito (2011), originalmente, o termo vulnerabilidade foi desenvolvido pela engenharia de estrutura para mostrar como as características construtivas poderiam fazer as edificações mais propensas a sofrerem danos. Nas últimas décadas, esse conceito tomou caráter multidisciplinar, ao contemplar não apenas aspectos estruturais, como humanos e sociais (CEPREDENAC-PNUD, 2003).

Para O’Riordan (2002) a vulnerabilidade a desastres naturais pode ser descrita como a incapacidade de uma pessoa, sociedade ou grupo populacional, de evitar o perigo relacionado a catástrofes naturais ou a condição de ser forçado a viver em tais condições de perigo. Tal situação decorre de uma combinação de processos econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Para Busso (2002) cinco dimensões da vulnerabilidade são as mais importantes:

- Habitat: condições habitacionais e ambientais, tipo de moradia, saneamento, infraestrutura urbana e equipamentos;
- Capital humano: escolaridade, alfabetização, assistência escolar, saúde, desnutrição, ausência de capacidade e experiência de trabalho;
- Econômica: inserção de trabalho e renda;
- Proteção social: cotização a sistema de aposentadoria e cobertura de seguros sociais;
- Capital social: participação política, associativismo, inserção em redes de apoio.

Segundo Cardona (2003), a vulnerabilidade é uma condição, circunstância ou predisposição para sofrer danos e não uma propriedade propensa a eles. Para o autor, a vulnerabilidade não deve ser considerada somente através da exposição dos elementos, mas também com as fragilidades sociais, com a capacidade da sociedade atingida por um fenômeno perigoso de responder ou de absorver o seu impacto. O autor afirma que as consequências do evento não estão somente relacionadas ao seu impacto, mas com a capacidade de resistir ao impacto e suas implicações na área/sociedade atingida. Isto pressupõe que cada pessoa, cada comunidade ou cada instituição social possui diferentes tipos de vulnerabilidade.

Alcántara-Ayala (2002) indica que cada entidade social possui diferentes tipos de vulnerabilidade e que ela não é somente o resultado de ações humanas. É o resultado da interação do contexto econômico, social, cultural e político do local onde as pessoas vivem. Desta forma, vulnerabilidade não pode ser tratada como um termo geral e homogêneo, mas sim dinâmico e determinado por cada sociedade.

Para Saito (2011), algumas palavras-chave como exposição e capacidade de resposta são muito presentes na discussão que envolve vulnerabilidade. Os elementos em risco podem estar expostos de diferentes maneiras a uma mesma ameaça e o exemplo comumente associado é o padrão construtivo, a qualidade das edificações presentes. Partindo desta concepção se atrela à ideia de capacidade desses mesmos elementos, a partir de todos os seus esforços e recursos, em lidar com os efeitos de um desastre. Sendo assim, a vulnerabilidade é diretamente ligada a aspectos físicos, sociais, de infraestrutura e capacidade de resposta.

A vulnerabilidade a desastres possui um caráter multifacetado, abarcando diferentes dimensões, a partir das quais se podem identificar condições de vulnerabilidade dos indivíduos, famílias ou comunidades. Estas condições estão ligadas tanto às características próprias dos indivíduos ou grupos, como relativas ao meio social nas quais estão inseridos (CEPED / UFSC, 2014).

Desta forma, há fortes argumentos para que se considere como urgente o aprofundamento do conhecimento científico sobre as causas dos efeitos desiguais de tais desastres sobre a população, bem como o desenvolvimento de metodologias de mensuração da vulnerabilidade aos mesmos. O desenvolvimento de metodologias e análises formais que permitam mensurar e qualificar os diferentes graus de vulnerabilidade é apontado como crucial nesse processo, visto que possibilitariam a identificação precisa das áreas de maior risco e vulnerabilidade, complementando a informação qualitativa advinda da experiência acumulada nos órgãos de defesa civil (BRAGA et al., 2006).

4.2.1.2 - Aspectos Gerais sobre Resiliência

A resiliência é definida como: "Capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposto a riscos de resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um perigo de maneira tempestiva e eficiente, através, por exemplo, da preservação e restauração de suas estruturas básicas e funções essenciais", Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos de Desastres (UNISDR, 2015).

A Segunda Conferência Mundial sobre Redução de Desastres em Kobe, em 2005, discutiu uma agenda e uma campanha global para construção de comunidades e nações resilientes por meio da aprovação por unanimidade do Marco de Ação de Hyogo: Construindo a resiliência das nações e comunidades frente aos desastres 2005-2015 – (Hyogo Framework Action – HFA). Almejou-se com o Marco de Ação de Hyogo reduzir substancialmente as perdas em termos de vidas e de bens sociais, econômicos e ambientais das comunidades (UNISDR, 2012).

Ainda de acordo com UNISDR (2012) um dos reflexos do Marco de Ação de Hyogo foi a Campanha Global 2010-2015 “Construindo Cidades Resilientes – Minha Cidade está se preparando”, com a publicação de um guia para gestores públicos locais, que aponta os 10 passos essenciais para construir cidades resilientes, que são:

1. Quadro Institucional e administrativo;
2. Recursos e Financiamento;
3. Avaliações de Risco e Ameaças Múltiplas – Conheça seu Risco;
4. Proteção, Melhoria e Resiliência de Infraestrutura;
5. Proteção de Serviços Essenciais: Educação e Saúde;
6. Construção de Regulamentos e Planos de Uso e Ocupação do Solo;
7. Treinamento, Educação e Sensibilização Pública;
8. Proteção ambiental e Fortalecimento de Ecossistemas;

9. Preparação, Sistemas de Alerta e Alarme, e Resposta Efetivos;
10. Recuperação e Reconstrução de Comunidades.

De acordo com Moura e Canil (2016) o Brasil é um dos países que mais aderiu à campanha Construindo Cidades Resilientes, porém a simples aderência está longe de ser suficiente para a construção da resiliência. É fundamental traçar estratégias de ação que envolvam a política governamental, o apoio técnico e as comunidades, considerando as trocas de experiências em âmbito nacional e internacional, para criar condições para que áreas de risco de desastres tornem-se resilientes.

O Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 - 2030 aprovado na Terceira Conferência Mundial das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres em 2015. Representa um grande avanço sobre o Marco anterior (o Marco de Ação de Hyogo). O novo Marco tem como meta alcançar nos próximos 15 anos: a redução substancial dos riscos de desastres e perdas de vida, meios de subsistência e saúde e dos ativos econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais das pessoas, empresas, comunidades e países. Apresentando como um dos seus principais focos a construção de cidades resilientes.

“Os programas de redução de riscos devem também ter o foco em ensinar/preparar as comunidades sociais da cidade e instituições a reduzir os “hazard risks” e responder de forma efetiva aos desastres, pois elas serão as grandes responsáveis em construir e efetivar a resiliência urbana”. (BARBOSA, 2013, p. 02,03). Ainda de acordo com a autora, a maioria dos estudos sobre cidades resilientes tem concentrado o foco na produção de sistemas físicos resistentes a desastres e outras adversidades. No entanto, os grandes responsáveis em efetivar a resiliência urbana serão as comunidades resilientes, que também devem ser o foco de estudos e pesquisas, pois cidades sem comunidades resilientes seriam extremamente vulneráveis e pouco sustentáveis.

Para Twigg (2009) o foco das comunidades mediante a resiliência significa enfatizar fortemente o que elas podem fazer por si próprias e como fortalecer suas capacidades, mais do que concentrar-se em sua vulnerabilidade ao desastre, nos seus impactos e tensões, ou em suas necessidades durante uma emergência. Silva (2013) elenca que atitudes as comunidades devem tomar para o enfrentamento dos desastres e se tornarem mais resiliente:

1. *Reconhecer seus problemas e suas fortalezas:* os componentes da comunidade devem reconhecer suas fraquezas e fortalezas, a fim de utilizar essas últimas como ferramentas para mitigar os primeiros. Exemplos de problemas: morar em encosta, com riscos de deslizamento de terra; morar próximo a córregos, com risco de transbordamento e

enchentes; morar próximo a represas de água, com risco de rompimento das barreiras. Exemplos de fortalezas: contar com uma política pública séria de prevenção de desastres; contar com sistema de alerta eficiente de ocorrência de desastres; contar com uma equipe local preparada para uma resposta rápida e eficiente caso o desastre ocorra, etc.

2. *Organização comunitária*: oficializar uma associação de moradores é um passo interessante para uma maior proximidade com todos os moradores e com os órgãos governamentais e as políticas públicas. Exemplo: organizar-se como NUDEC.
3. *Ter listado todos os recursos humanos, físicos e sociais da comunidade*: precisam saber com quem contar para realizar a prevenção, o enfrentamento e a recuperação caso ocorra um desastre. Por exemplo, para a prevenção é preciso conhecer as políticas públicas (defesa civil, secretárias de saúde, educação, assistência social, habitação), a quem pode recorrer para realizar avaliação de risco e resolver os problemas que o causam (canalizar o córrego, reforçar uma encosta, localizar área mais segura para morar, entre outras ações). Para se preparar para a ocorrência do desastre pode-se contar com simulações realizadas por órgãos públicos, com a criação de um sistema de alerta efetivo e uma rota de fuga adequada, obedecendo aos alertas quando os mesmos forem enviados.
4. *Cobrar os recursos governamentais*: a comunidade precisa estar ciente dos recursos governamentais (nos três níveis de governo: municipal, estadual e federal) para prevenção, enfrentamento e recuperação dos desastres, como ter acesso a esses recursos e cobrar das autoridades a sua utilização adequada. Por exemplo: auxílio moradia, bolsa aluguel, verba para obras de intervenção etc.
5. *Inclusão do tema na escola*: a comunidade pode propor que o tema sobre desastres seja tratado na escola, em aulas como ciências, português, matemática, etc, proporcionando que os alunos conheçam o tema sobre diversos aspectos e leve essas informações para seus familiares e para a comunidade. A eles também podem ser fornecidas informações sobre como reagir na hora do desastre e realizar o enfrentamento de seu impacto. A iniciativa na escola pode servir como um estímulo para que toda a comunidade seja envolvida na ação.

Uma cidade se beneficia com a adoção de estratégias de resiliência ao permitir, por um lado, a diminuição de mortos, desabrigados e desalojados durante a ocorrência de catástrofes naturais (dentre outras) e, por outro lado, a redução dos prejuízos materiais decorrentes destas situações. Aumenta as capacidades de resistência da infraestrutura física, dos meios de

produção e do tecido social e permite o retorno à “normalidade” mais rapidamente após a catástrofe (FREIRE, 2013).

De acordo com Cardona (2001) a falta de resiliência para enfrentar desastres e se recuperar, contribuem também para o risco, sendo fator de impacto sobre as comunidades e organizações.

4.2.2 - Metodologias para Elaboração do Mapeamento de Risco

Segundo Brasil (2010) o mapa de risco é um importante instrumento de política pública de gerenciamento para as três esferas de governo, municipal, estadual e federal, na medida em que permite hierarquizar os problemas, avaliar os custos de investimentos e dar suporte técnico às negociações com a comunidade. O mapa de risco tem valiosa utilização técnica, social e política, podendo ser utilizado com os seguintes propósitos:

- i. Instrumento de planejamento urbano;
- ii. Definição de áreas prioritárias para intervenção em base técnica e não política;
- iii. Definição do sistema de controle nos pontos críticos;
- iv. Definição do tipo de tratamento da área em função do processo atuante;
- v. Instrumento de negociação com as comunidades e órgãos de financiamento;
- vi. Orçamento de intervenção estrutural (obras de engenharia).

O mapa de risco geológico/geotécnico é um instrumento cartográfico que apresenta a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológico/geotécnicos, visando a definição de medidas de prevenção de acidentes. A sua representação pode ser de dois tipos: por cadastramento de risco, consta da apresentação dos pontos notáveis sujeitos ao risco, com indicação de seu grau; e por zoneamento de risco, onde são delimitadas zonas homogêneas em relação ao grau de risco geológico/geotécnico, estabelecendo as classes de áreas de risco. A codificação dos graus de risco pode utilizar números (1,2,3, etc.), termos linguísticos (baixo, médio, etc.), cores ou hachuras. O uso de cores semafóricas (verde, amarelo, vermelho) vem sendo recomendado, tendo em vista sua relação imediata com a noção implícita de referencial de perigo (BANDEIRA, 2003).

De acordo com Brasil (2010) a análise do grau de risco de uma determinada área pode ser realizada através de dois tipos:

Análise probabilística (quantitativa): Na análise probabilística, o risco é determinado através da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente, em determinado intervalo de tempo. Os mapeamentos de risco quantitativos ainda são pouco testados em nosso país, pois

necessitam de um banco de dados consistente sobre os deslizamentos ocorridos ao longo do tempo. Nestes casos, estando disponíveis: dados sobre intensidade das chuvas, causas do acidente, volumes deslizados, recorrência dos processos, entre outras informações, é possível adotar modelos de mapeamento quantitativo, definindo a probabilidade de ocorrência dos processos destrutivos.

Uma das principais vantagens da obtenção de um Índice Quantitativo de Risco é o estabelecimento de um parâmetro para a alocação de investimentos em obras de estabilização a partir de critérios bem definidos que permitem a comparação entre situações distintas. Quanto mais rico e preciso for o banco de dados de um determinado local, mais representativos serão os resultados da quantificação.

Análise relativa (qualitativa): O risco é determinado através da simples comparação entre as situações de riscos identificadas, sem cálculos probabilísticos quanto à ocorrência. O grau de risco é estabelecido por níveis literais, ou seja, por termos lingüísticos (baixo, médio, alto e muito alto). As consequências podem ser definidas de forma similar, englobando intervalos de valores relacionados ao número de moradias expostas ao risco. Estas análises são adequadas para o levantamento preliminar do quadro de risco de uma região, onde o importante é estabelecer uma hierarquia de setores que sirva de base para implantação de ações não estruturais como os planejamentos urbanos.

De acordo com Brasil (2006), no Brasil, como em muitos países, os mapeamentos de risco são predominantemente realizados por meio de avaliações qualitativas, ou seja, os riscos são identificados com base na opinião técnica da equipe que realiza o mapeamento com o apoio de informações dos moradores da área mapeada.

Abaixo seguem experiências metodológicas elaboradas pela UFPE, em mapeamentos de risco executados na Região Metropolitana do Recife e experiências desenvolvidas pela UFRJ em Angra dos Reis-RJ. Bem como, apresenta metodologias do Ministério das Cidades e do IPT por se tratarem de metodologias amplamente adotadas em todo o país. Serão apresentadas de forma sucinta e abordando exemplos tanto para movimento de massa como para inundação.

4.2.2.1 - Metodologia de Gusmão Filho *et al* (1992) para elaboração de mapa de risco de erosão e escorregamento - UFPE

Segundo BANDEIRA (2003) a metodologia desenvolvida por Gusmão Filho *et al.* (1992) é um método índice, por que utiliza um índice numérico associado a cada fator e de análise relativa, onde se compara as situações de riscos sem a utilização de cálculos probabilísticos, obtendo assim resultados de forma qualitativa. Esta metodologia é destinada a

setores de encostas individualizadas, onde em campo é feita uma análise de uma determinada área, verifica-se sua característica de ocupação e infraestrutura e divide-a em setores homogêneos de encostas. A utilização de uma ficha permite assim uma uniformidade nos dados a serem coletados, levando em consideração fatores topográficos, geológicos e ambientais, os quais estão relacionados a atributos que afetam a estabilidade das encostas.

São atribuídos aos fatores topográficos e geológicos os elementos da suscetibilidade da área em estudo; e ao fator ambiental são atribuídos os elementos de suscetibilidade e vulnerabilidade da área em estudo. O fator meteorológico, nesta metodologia, é considerado uniforme para toda a área de estudo, considerando-se os mesmos índices pluviométricos para toda região. Tendo em mãos a ficha para o levantamento dos fatores, avaliam-se tanto em campo quanto em escritório os valores e características dos atributos. Logo após a coleta das informações necessárias de todos os setores de encostas, cada atributo recebe uma avaliação quantitativa devidamente associada com o grau de risco (muito baixo -1, baixo - 2, médio - 3, alto - 4 e muito alto -5).

Após a obtenção do grau de risco para cada atributo, calcula-se o grau de risco para cada fator (topográfico, geológico e ambiental) através da média aritmética dos valores dos seus atributos. Por fim, calcula-se o grau de risco de cada setor de encosta através da média aritmética ou ponderada (dependendo dos pesos que lhe são atribuídos) dos fatores, conforme a Equação 4.4:

$$GRF_{ENC} = \left[\frac{(P1 * GRT) + (P2 * GRG) + (P3 * GRA)}{(P1 + P2 + P3)} \right] \quad \text{(Equação 4.4)}$$

Na qual:

GRF_{ENC} = Grau de risco de cada setor de encosta;

GRT = grau de risco topográfico (média aritmética dos atributos topográficos);

GRG = grau de risco geológico (média aritmética dos atributos geológicos);

GRA = grau de risco ambiental (média aritmética dos atributos ambientais);

P1, P2 e P3 são respectivamente os pesos atribuídos entre os fatores topográfico, geológico e ambiental.

Nas encostas do Recife, com o intuito de ressaltar a importância relativa dos fatores de risco na deflagração dos acidentes de deslizamentos, o grau de risco final nesse município foi calculado através de uma média ponderada, com peso 2 para topografia, 1 para geologia e 3 para o ambiente. Nas encostas de Jaboatão dos Guararapes e Olinda, o autor considerou a média aritmética entre os três fatores para o cálculo do grau de risco final. Com o valor do grau de risco de cada setor de encostas, observa-se a faixa de seus valores, para então distribuí-los em

05 intervalos, atribuindo-lhe seus equivalentes numéricos (de 1 a 5), que serão associados aos termos linguísticos (Tabela 4.2), para a definição do grau de risco final.

Tabela 4.2 - Graus de risco finais para o município de Recife.

| CLASSIFICAÇÃO | GRAU DE RISCO | RISCO OBTIDO |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| Muito Baixo | 1 | < 1,74 |
| Baixo | 2 | 1,74 – 2,24 |
| Médio | 3 | 2,25 – 2,74 |
| Alto | 4 | 2,75 – 3,24 |
| Muito Alto | 5 | > 3,24 |

Fonte: (ALHEIROS, 1998 apud BANDEIRA, 2003).

4.2.2.2 - Metodologia adotada na realização do Mapa de Risco de erosão e escorregamento no município de Camaragibe – Experiência GEGEP/UFPE

Ao realizar o mapeamento das áreas de risco de erosão e escorregamento das ocupações desordenadas nas encostas do Município de Camaragibe, Bandeira (2003) adotou como base a metodologia de Gusmão Filho et al. (1992), realizando ajustes necessários à adequação ao modelo de avaliação de risco sugerido pelo Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, da Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades. A autora também considerou ajustes recomendados por Gusmão Filho et al. (1993) e Alheiros (1998). O trabalho adotou um método índice de análise relativa, que dá resultados qualitativos, aplicado a setores individualizados de encostas.

Na metodologia adotada por Bandeira (2003), foi elaborada uma ficha de dados que permite uniformizar e comparar os dados a serem coletados, levando em conta os fatores geológico, topográfico e ambiental. Para cada um deles, foram considerados os principais grupos de atributos que levam a instabilização das encostas. O Quadro 4.2 contém os fatores que foram analisados na identificação dos graus de risco em Camaragibe.

Quadro 4.2 - Fatores e Atributos de Risco adotados em Camaragibe.

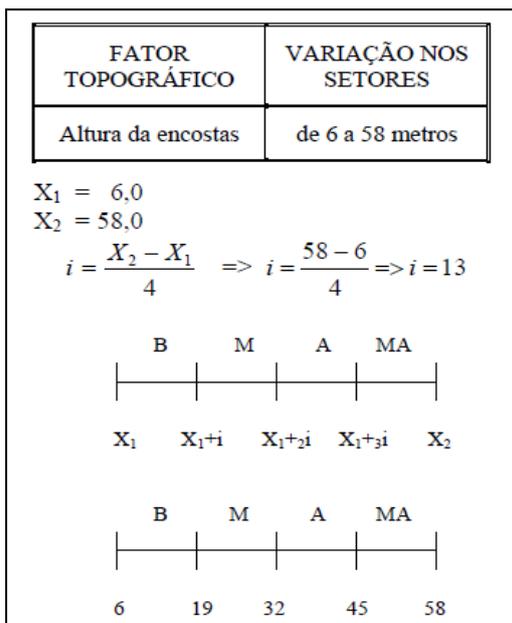
| TOPOGRÁFICO | GEOLÓGICO | AMBIENTAL |
|--|--|--|
| - Altura da encosta; - Perfil; - Morfologia; - Extensão da encosta; - Declividade da encosta; - Altura do corte; - Largura do corte. | - Litologia; - Textura; - Estrutura; - Evidências de movimento. | - Vegetação; - Drenagem; - Cortes; - Densidade demográfica (hab/ha); - Tratamento. |

Fonte: Bandeira (2003).

No Município de Camaragibe, os atributos foram analisados segundo uma escala composta por quatro termos, associados aos números: 1 (baixo), 2 (médio), 3 (alto), 4 (muito alto). O risco muito alto – R4 é a condição mais crítica possível, caracterizada por apresentar feições de instabilidade (trincas nas edificações, fissuras no solo, voçorocas...), determinada pela alta possibilidade de ocorrência de acidentes. A situação iminente não foi cartografada, uma vez que na iminência de acidentes, o caso deve ser objeto imediato da ação corretiva da Defesa Civil, no sentido da sua redução ou remoção, não sendo justificada, assim, a criação de uma entidade cartográfica tão efêmera (BANDEIRA, 2003).

Para avaliar o grau de risco dos atributos associando-os aos quatro números, observou-se seus valores extremos (X_1 e X_2), obtidos em todos os setores de encosta, e dividiu-se o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento (i). Por exemplo: se as alturas dos setores de encostas variaram de 6 a 58 metros, a variação é de 52 metros ($58-6=52$). Dividindo esta variação em 04 faixas obtém-se um incremento (i) de 13 metros ($i=52\div 4$). Então os valores de graus de risco serão: <19 (baixo -1), 19-32 (médio -2), 32-45 (alto -3), >45 (muito alto -4), associados aos números de 1 a 4 respectivamente. A Figura 4.4 ilustra esta situação.

Figura 4.4 – Divisão das faixas de grau de risco.



Fonte: Bandeira (2003).

Neste modelo, a escala de graus de risco é usada com “valores” de 1 a 4, associada a cada atributo de risco isoladamente, sendo o risco final do setor estudado, obtido através de média aritmética, entre os graus de risco dos fatores topográfico, geológico e ambiental.

Como as encostas do município de Camaragibe encontram-se em área de tabuleiros, que representam um relevo ainda imaturo, com vales verticalizados, observa-se que, mesmo sem a ação antrópica, as encostas tendem a sofrer processos de instabilização, procurando seu equilíbrio natural. Neste caso, o risco geológico tem grande importância nos movimentos, assim como o risco topográfico. Por este motivo foram atribuídos pesos iguais (2) para a topografia e para a geologia; para o fator ambiental atribuiu-se peso 3, por ser ainda o mais importante na composição do risco devido a ação antrópica. Para ressaltar a importância diferenciada dos fatores de risco frente à ocorrência de acidentes, GUSMÃO FILHO et al. (1993) propuseram atribuir pesos, onde o grau de risco final é calculado por meio de uma média ponderada (BANDEIRA, 2003).

Assim, no município o grau de risco final foi calculado através da Equação 4.5:

$$GRF = \left[\frac{(2 * GRT) + (2 * GRG) + (3 * GRAt)}{7} \right] \quad \text{(Equação 4.5)}$$

GRF = Grau de risco final;

GRT = Grau de risco topográfico;

GRG = Grau de risco geológico;

GRAt = Grau de risco ambiental incluindo a nota do tratamento.

Obtidos os valores de graus de risco de todos os setores de encostas e observando os seus valores extremos, divide-se linearmente o intervalo em quatro faixas para o termo linguístico do grau de risco final. A grande diferença entre o mapeamento realizado em Camaragibe por Bandeira (2003), para os atuais, é devido ao fato que o GEGEP/UFPE passou a dar mais ênfase a aspectos relacionados a vulnerabilidade em seus estudos.

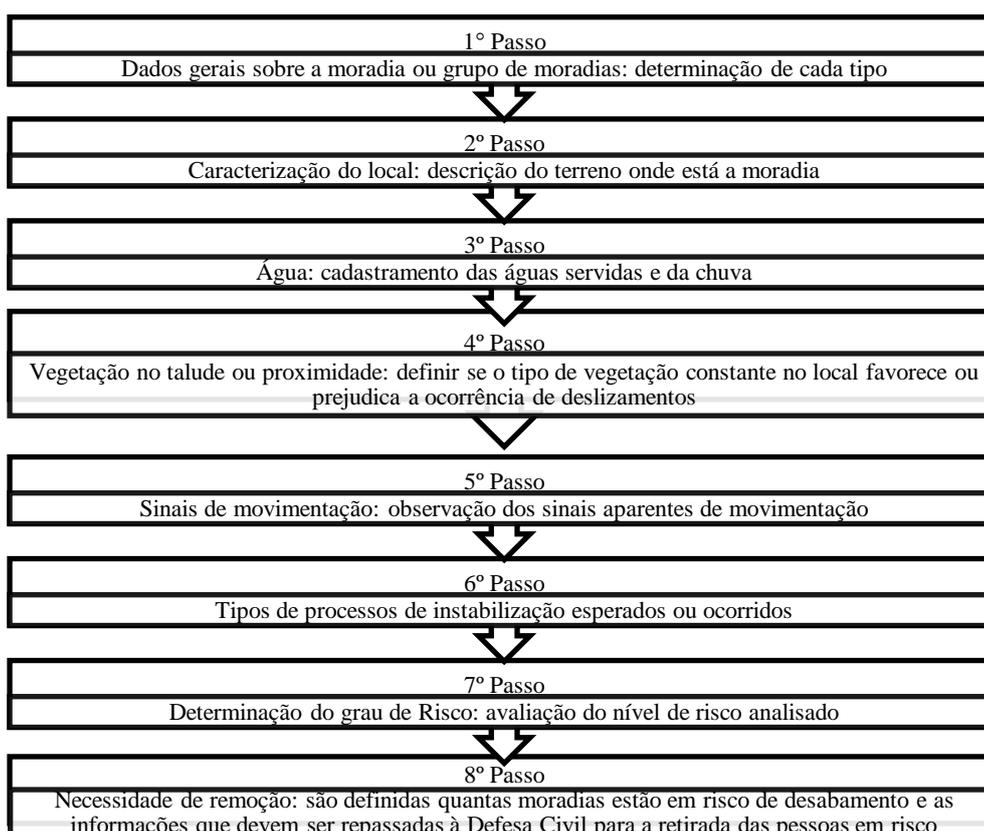
4.2.2.3 - Metodologia de avaliação e Mapeamento de áreas de Risco – Ministério das Cidades/IPT

A metodologia do Ministério das Cidades/IPT propõe utilizar escala de hierarquização com classificação distribuída em quatro graus (níveis) de probabilidade de ocorrência de processos de escorregamentos. Esta metodologia tem por objetivo a avaliação qualitativa, a partir da observação dos indicadores de instabilidade obtidos através do preenchimento de fichas cadastrais que permitem ao avaliador determinar a potencialidade de ocorrência de acidentes por meio da investigação de campo, identificando os condicionantes naturais e induzidos (MARQUES, 2011).

Ainda de acordo com Marques (2011) registra-se na comunidade científica, através das publicações apresentadas em eventos, que a metodologia do Ministério das Cidades tem sido a mais utilizada a nível nacional na elaboração dos mapeamentos para gerenciamento de risco. Em trabalhos publicados em eventos científicos nacionais, se percebe que há uma predominância desta metodologia na temática de áreas de risco (por exemplo: BANDEIRA e COUTINHO, 2008; BANDEIRA et al, 2008; GOBBI et al, 2008; CORREIA e BONAMIGO, 2008; PEREIRA et al, 2008; VARANDA et al, 2008; BRESSANI e BERTUOL, 2010; FARIA e FILHO, 2010; XAVIER et al, 2010; BROLLO et al, 2010; MENDONÇA et al, 2010; NOGUEIRA et al, 2011; ALHEIROS, 2011; CANIL et al, 2011; MACEDO et al, 2011; BROLLO et al, 2011).

A Figura 4.5 apresenta o roteiro metodológico de 8 passos, proposto pelo Ministério das Cidades para a análise de áreas de risco. O Quadro 4.3 detalha os critérios para a determinação dos graus de risco. Na etapa de identificação e análise de risco é realizado um diagnóstico dos riscos existentes nas áreas aos quais são atribuídos diferentes graus de risco, objetivando apresentar as prioridades de intervenção: R1 (risco baixo), R2 (risco médio), R3 (risco alto) e R4 (risco muito alto).

Figura 4.5 - Roteiro metodológico para análise e mapeamento de riscos.



Fonte: BRASIL (2007a)

Quadro 4.3 – Critérios para a determinação dos graus de risco.

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

Fonte: BRASIL (2007a)

A operacionalidade desta metodologia inicia-se com a aquisição da imagem de satélite (3D) e envolve levantamentos de campo para geração de uma base de dados adequada à elaboração de cartas hidro-geomorfológica, geológico-geotécnica, vegetação e uso-ocupação do solo. Faz-se o georreferenciamento da imagem e manipulação de dados com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e as legendas das cartas temáticas são definidas segundo a relevância de suas respectivas categorias, ou através de índices funcionais que sintetizam parâmetros relevantes frente aos deslizamentos característicos da área de estudo (translacional, rotacional, rastejo e queda de blocos).

Faz parte da metodologia a elaboração das seguintes cartas: hidro-geomorfológica, de posição das encostas, geológica, de solos e de vegetação. Elementos julgados relevantes para a avaliação do potencial de deslizamentos foram observados em campo e localizados com auxílio de GPS (exemplos: escadarias de acesso, canaletas e bueiros em mau estado, cicatrizes de deslizamentos, sulcos, ravinas, afloramento rochoso, etc.). Estes dados serviram de referência na análise qualitativa e definição do nível de suscetibilidade.

O cruzamento dos arquivos de hidro-geomorfologia, geologia e solos gerou uma carta síntese que subsidiou a classificação do grau de suscetibilidade frente a determinado mecanismo preponderante de movimentação de massa. Este produto foi sobreposto pela carta de Vegetação e Uso-Ocupação do Solo, o qual manteve ou alterou o grau de suscetibilidade, sem modificar o tipo de mecanismo definido anteriormente. Foram definidas quatro classes de suscetibilidade (muito alta, alta, média e baixa) que foram associadas aos cinco mecanismos de deslizamentos (translacional, rotacional, rastejo, fluxo detrítico e queda de blocos). Com o cruzamento destas informações junto aos elementos sob risco, foi feita a análise de risco. Este cruzamento utilizou dados dos setores censitários do IBGE (2010) e foram realizados cálculos dos números de pessoas e de domicílios sob diferentes graus de riscos frente aos diferentes níveis de suscetibilidade a deslizamento. A densidade populacional destas áreas foi definida em três classes: baixa, média e alta. O último cruzamento foi realizado com os dados da população (3 classes) e o grau de suscetibilidade (4 classes), resultando em 12 classes de risco.

Com a aplicação desta metodologia na área central de Angra dos Reis (RJ) e consequente elaboração da carta de risco, foi possível hierarquizar as prioridades de intervenções em áreas suscetíveis a eventos adversos. A metodologia mostrou-se adequada na medida em que o resultado conferiu em mais de 80% dos casos de deslizamentos pretéritos. Porém, a ausência de dados básicos acarretou num tempo longo de desenvolvimento do estudo (um ano). Todas as informações apresentadas nesta seção tiveram como referência a publicação de Coelho Netto et al. (2013).

4.2.2.5 - Mapeamento e análise de áreas de risco de enchentes e inundações em áreas urbanas – Ministério das Cidades/ IPT

O Ministério das Cidades (BRASIL, 2007a) propõe uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT na qual aborda parâmetros e critérios de análise e classificação de riscos para ocupações urbanas sujeitas a processos de enchentes e inundações. Que segue os seguintes passos:

- a) Identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho;
- b) Identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas de baixa altitude (quando existir);
- c) Levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré-setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo.

Assim, para Brasil (2007a) existem 3 critérios que devem ser observados no campo, tais como:

I. Análise dos cenários de risco e potencial destrutivo dos processos hidrológicos ocorrentes.

O primeiro critério de análise refere-se à identificação do cenário hidrológico presente em cada área a ser investigada. Nesse sentido, e de forma orientativa, pode-se considerar as tipologias de processos hidrológicos referentes aos respectivos cenários de risco anteriormente descritos:

- a) Processo hidrológico 1: enchente e inundação lenta de planícies fluviais - C1;
- b) Processo hidrológico 2: enchente e inundação com alta energia cinética - C2;
- c) Processo hidrológico 3: enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido - C3.

Cada um dos processos hidrológicos comumente ocorrentes será utilizado como critério de análise e de periculosidade na medida em que consistem em processos com diferente capacidade destrutiva e potencial de danos sociais e econômicos em função da sua magnitude, energia de escoamento, raio de alcance lateral e extensão e impacto destrutivo.

II. Vulnerabilidade da ocupação urbana

O segundo critério para análise de risco refere-se à vulnerabilidade da ocupação urbana presente em cada área de risco. A avaliação da vulnerabilidade compreende a análise do padrão construtivo considerando basicamente 2 tipologias construtivas:

- a) alta vulnerabilidade de acidentes (V1): baixo padrão construtivo onde predominam moradias construídas com madeira, madeirit e restos de material com baixa capacidade de resistir ao impacto de processos hidrológicos;
- b) baixa vulnerabilidade de acidentes (V2): médio a bom padrão construtivo onde predominam moradias construídas em alvenaria com boa capacidade de resistir ao impacto de processos hidrológicos.

III. Distância das moradias ao eixo da drenagem

O terceiro critério para análise de risco refere-se à distância das moradias ao eixo da drenagem, logicamente considerando o tipo de processo ocorrente na área e o raio de alcance desse processo. Intrinsecamente neste critério há embutida a frequência de ocorrência: fenômenos com maior raio de alcance estão associados a eventos de maior magnitude e de menor tempo de retorno em termos estatísticos tendo as chuvas como agente deflagrador do processo.

- a) alta periculosidade (P1): alta possibilidade de impacto direto considerando o raio de alcance do processo;
- b) baixa periculosidade (P2): baixa possibilidade de impacto direto considerando o raio de alcance do processo.

A definição de níveis relativos de risco considerando os 3 critérios e parâmetros de análise de risco pode ser desenvolvida considerando diferentes arranjos entre os mesmos. São definidos nessa análise 4 níveis de risco: risco muito alto (MA), risco alto (A), risco médio (M) e risco baixo (B). Assim o cruzamento das informações coletadas, através de uma matriz permite determinar o risco preliminar e posteriormente o risco final das áreas estudadas.

4.2.2.6 - Métodos e técnicas de identificação e análise de áreas de risco de enchentes e inundações – IPT

Por solicitação da Casa Militar do Governo de São Paulo, municípios do estado foram mapeados no ano de 2013 de acordo com metodologia simplificada a partir daquela

desenvolvida pelo IPT para o Ministério das Cidades (metodologia que foi apresentada acima) e adotada em todo o país. Nessa metodologia são descritos parâmetros e critérios de análise e classificação de riscos para ocupações urbanas sujeitas a processos de enchentes e inundações

De acordo com o IPT (2013) para o mapeamento é utilizada uma ficha de campo na forma de um *check-list*, com diversos condicionantes geológicos, geotécnicos e hidrológicos importantes para a caracterização dos processos de inundação: tipologia do canal, distância das moradias, assoreamento do canal, solapamento de margens, intervenções, obstruções e dados históricos de eventos de inundação (raio de alcance máximo, altura máxima de inundação e quantidade de chuva registrada). Também são considerados aspectos específicos, tais como o padrão construtivo das habitações (madeira, alvenaria e misto) e o estágio de ocupação atual incluindo aspectos gerais sobre a infraestrutura urbana implantada, tais como: condições das vias (pavimentada, terra, escadarias) e sistemas de drenagem

Os critérios observados em campo para a realização do mapeamento de áreas de inundação são os seguintes:

I. Análise dos cenários de risco, probabilidades de ocorrência e tempo de recorrência

O primeiro critério refere-se à identificação do cenário hidrológico presente em cada área a ser investigada, podendo considerar as tipologias conforme o cenário de risco:

- a) Enchente e inundação lenta de planícies fluviais;
- b) Enchente e inundação com alta energia cinética;
- c) Enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido.

Cada um dos processos comumente ocorrentes será utilizado como critério de análise e periculosidade, já que consistem em processos de diferentes capacidades destrutivas e potencial de danos sociais e econômicos em função da magnitude, energia de escoamento, raio de alcance lateral, expansão e impacto destrutivo.

Cada cenário possui suas particularidades e, portanto, possibilidades diferentes de ocorrência, o que pode ser medido a partir do tempo de retorno das chuvas e para a presente metodologia foi adotado:

- a) Probabilidades muito altas: recorrência a partir de duas vezes a cada ano;
- b) Probabilidades altas: recorrência de uma vez a cada dois anos;
- c) Probabilidades médias: recorrência de uma vez a cada cinco anos;
- d) Probabilidades baixas: recorrência de uma vez a cada dez anos.

II. Gravidade do processo sobre os elementos sob risco

O segundo critério refere-se à gravidade do processo sobre a ocupação urbana presente em cada área de risco. A avaliação da gravidade compreende às possibilidades de perdas causadas pelo processo. Assume-se que os níveis de perdas devem variar entre aquelas que o município julgar absolutamente absorvíveis e que causam muito pequeno impacto social e nas contas públicas, até as perdas de tal valor que ultrapassam a capacidade do próprio município responder a elas, configurando-se num desastre. Tem-se assim:

- a) Gravidade negligenciável (baixa): é absolutamente absorvível pela municipalidade e de pequeno impacto social;
- b) Gravidade média: pode causar algum impacto social e ser ainda gerenciado localmente;
- c) Gravidade alta: altos impactos sociais e que pode comprometer os recursos municipais;
- d) Desastre (muito alta): onde o município não tem condições de responder sem recorrer à ajuda externa.

A definição de níveis de risco considerando os dois critérios e os parâmetros de análise de risco podem ser desenvolvidos considerando diferentes arranjos. São definidos nesta análise quatro riscos: Muito Alto (MA), Alto (A), Médio (M) e Baixo (B).

A matriz de risco obtida a partir do cruzamento entre a probabilidade de ocorrência (com tempo de recorrência) e a gravidade do processo sobre os elementos sob risco é apresentada no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Matriz de risco segundo arranjo entre probabilidade de ocorrência do processo e sua gravidade.

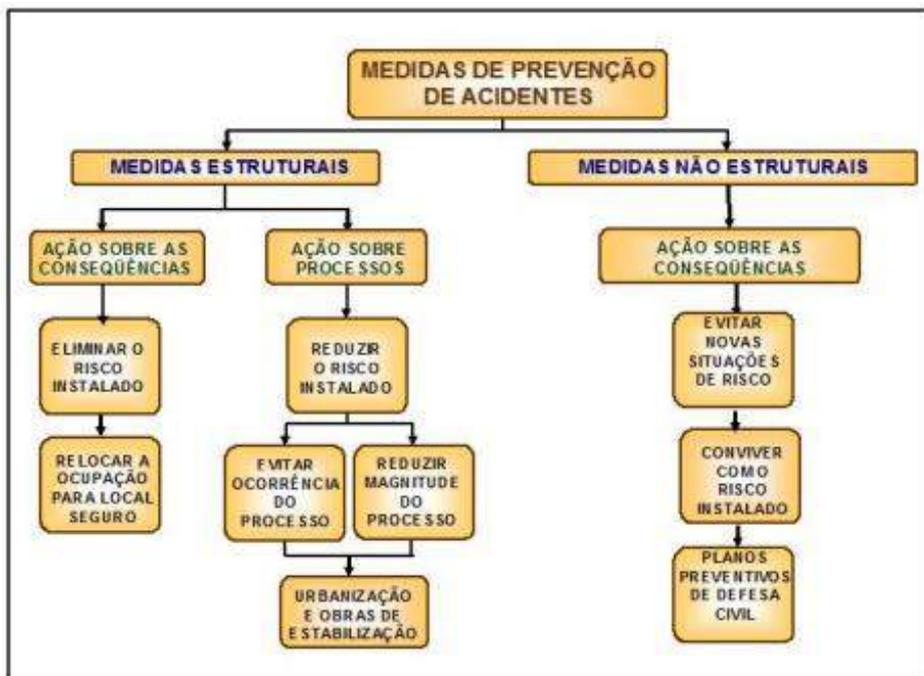
| PROBABILIDADE | GRAVIDADE | | | |
|---------------|-----------|-------|-------|------------|
| | BAIXA | MÉDIA | ALTA | MUITO ALTA |
| BAIXA | Baixo | Baixo | Médio | Muito alto |
| MÉDIA | Baixo | Médio | Alto | Muito alto |
| ALTA | Baixo | Médio | Alto | Muito alto |
| MUITO ALTA | Baixo | Médio | Alto | Muito alto |

Fonte: IPT (2013)

4.3 - Gerenciamento de áreas de risco: medidas estruturais e não estruturais

Após a identificação e análise dos riscos segue-se com a etapa de ações estruturais e não estruturais. As ações estruturais apontam para a execução de um plano voltado para a redução dos riscos, através de implantação de obras de engenharia de forma planejada (muros de arrimo, sistema de drenagem, revegetação, remoção de moradias, etc.). Em muitos casos o problema é tão complexo que não dá tempo para executar a obra, sendo necessário planejar formas de monitoramento permanente e prevenção de acidentes (ações não estruturais) nas áreas de risco (BRASIL, 2010). A Figura 4.7 ilustra um esquema das medidas de prevenção de acidentes.

Figura 4.7- Medidas de atuação em relação a áreas de risco.



Fonte: Carvalho et. al. (2007) apud Silva (2010).

4.3.1 - Medidas estruturais

As medidas estruturais são aquelas onde se aplicam soluções da engenharia, executando-se obras de estabilização de encostas, sistemas de micro e macro drenagem, obras de infraestrutura urbana, relocação de moradias, etc. Essas ações são normalmente muito custosas, sobretudo quando é necessário conter deslizamentos de grande magnitude, estabilizar grandes blocos de rocha ou evitar enchentes e inundações, e processos correlatos de erosão e solapamento de margens de córregos em extensas áreas ocupadas (Henrique, 2014).

Para Coutinho e Silva (2006) a escolha de uma determinada obra de estabilização você deve conhecer os principais tipos de obras existentes, a sua forma de atuação, as solicitações que impõem ao terreno e a relação custo-benefício. A adoção de um determinado tipo de obra de estabilização deve ser o resultado final do estudo de caracterização geológico-geotécnico do talude ou da encosta e do estudo da viabilidade financeira. Uma obra de estabilização deverá atuar diretamente nos agentes e causas da instabilização investigada, e as alternativas de projeto deverão sempre partir das soluções mais simples e baratas.

Segundo Brasil (2010) os principais grupos e tipos de obras de estabilização de taludes são: Obras sem estrutura de contenção (Quadro 4.5), obras com estrutura de contenção (Quadro 4.6), obras de proteção para massas movimentadas (barreiras vegetais, muros de espera).

Quadro 4.5- Tipos de obras sem estrutura de contenção para estabilização de encostas.

| SUBGRUPOS | | TIPOS DE OBRAS |
|-------------------------|-----------------------|--|
| Retaludamento | Cortes | - Talude contínuo e escalonado |
| | Aterro compactado | - Carga de fase de talude (muro de terra) |
| Proteção superficial | Materiais naturais | - Gramíneas - Grama armada com geossintético - Vegetação arbórea - Selagem de fendas com solo argiloso |
| | Materiais artificiais | - Cimentado - Geomantas e gramíneas - Geocélula e solo compactado - Tela argamassada - Pano de pedra ou lajota - Alvenaria armada - Asfalto ou polietileno - Lonas sintéticas |
| Drenagem | Interna | - Drenos sub-horizontais, trincheiras, etc |
| | Externa | - Canais, canaleta de borda, de pé e de descida |
| Estabilização de blocos | Retenção | - Tela metálica e tirante |
| | Remoção | - Desmonte |

Fonte: Brasil (2010).

Quadro 4.6 - Tipos de obras com estrutura de contenção para estabilização de encostas.

| SUBGRUPOS | | TIPOS DE OBRAS |
|----------------------------------|------------------------------|---|
| Muro de arrimo | Solo-cimento | - Solo-cimento ensacado |
| | Pedra-rachão | - Pedra seca - Alvenaria de pedra |
| | Concreto | - Concreto armado - Concreto ciclópico |
| | Gabião | - Gabião-caixa |
| | Bloco de concreto articulado | - Bloco de concreto articulado; (pré-fabricado, encaixado sem rejunte). |
| | Solo-pneu | - Solo-pneu |
| Outras soluções de contenção | Terra armada | - Placa pré-fabricada de concreto, ancoragem metálica ou geossintéticos |
| | Micro ancoragem | - Placa e montante de concreto, ancoragem metálica ou geossintéticos |
| | Solo compactado e reforçado | - Geossintético - Paramento com pré-fabricados |
| | Cortina atirantada | - Cortina atirantada |
| | Solo grampeado | - Solo grampeado |
| Contenção de massas movimentadas | Materiais naturais | - Barreira vegetal |
| | Materiais artificiais | - Muro de espera |

Fonte: Brasil (2010).

4.3.1.1 - Obras sem estrutura de contenção

I. Limpeza da área

O lixo acumulado nas encostas absorve grande quantidade de água e desenvolve seu processo bioquímico de degradação e produção de chorume, favorecendo sua interação com o solo. À medida que o volume aumenta e absorve água, a massa de lixo pode perder o equilíbrio e se deslocar, arrastando consigo grande volume de solo. Em encostas instáveis, a massa de lixo pode induzir deslizamentos de encostas e, ainda, provocar deslizamento apenas da massa de lixo, provocando acidentes consideráveis, dependendo do seu volume. O lixo lançado nas canaletas de drenagem impede o escoamento das águas, permitindo extravasamentos e o aumento de infiltração no solo. Para minimizar as consequências provocadas pelo acúmulo do lixo, podem-se realizar algumas atividades, entre elas: Serviços de limpeza de entulho, lixo etc.; recuperação e/ou limpeza de sistemas de microdrenagem, esgotos e acessos; limpeza de canais de drenagem (macro drenagem) através de serviços manuais e/ou utilizando maquinário de pequeno porte (BRASIL, 2010).

II. Retaludamento

O retaludamento é um tipo de obra considerada barata, que consiste em estabilizar o talude através da mudança de sua geometria, podendo ser realizado em um talude isolado ou em todo o perfil de uma encosta. Muitas vezes combinam-se os cortes superiores com os aterros compactados na base da encosta para funcionar como carga estabilizadora. Indispensavelmente os retaludamentos devem ter proteção superficial, natural ou artificial e devem ser associados a um sistema de drenagem eficiente (ALHEIROS et al., 2003).

A remoção de parte do material do talude é um dos processos mais antigos e mais simples de estabilizar talude, pois a suavização de sua inclinação resulta na alteração do estado de tensões atuantes no maciço, ou seja, há uma redução das tensões de cisalhamento (WOLLE, 1980 apud SILVA, 2010).

III. Proteção Superficial

A proteção superficial dos taludes tem como objetivo impedir a formação de processos erosivos e diminuir a infiltração de água no maciço. Os terrenos expostos a erosão e a infiltração devido à remoção da vegetação e das camadas superficiais são uma das principais causas dos deslizamentos que ocorrem nos morros. Para proteger os taludes pode se utilizar materiais naturais ou artificiais. A escolha do tipo de material deverá ser feita em relação aos critérios técnico-econômicos, em função das características dos solos, topografia do local, disponibilidade de material e qualificação da mão de obra (SILVA, 2010).

Materiais Naturais

Entre os tipos de materiais naturais para proteção superficial das encostas temos: vegetação arbórea (mata), gramíneas, grama armada com geossintético, telas vegetais compostas por materiais biodegradáveis e as geomembranas (geomantas, biomantas e geocélulas). A vegetação interfere tanto no aspecto mecânico de uma encosta quanto no aspecto hidrológico. A interceptação da água precipitada reduz o volume de escoamento superficial e a infiltração. Quanto ao aspecto mecânico, a malha das raízes reforça o solo, atuando como agente estabilizador (HENRIQUE, 2014). Porém Alheiros et al (2003) afirma, não se observa por parte da população dos morros, os cuidados necessários para a manutenção da vegetação nos taludes, alegando que, em razão da grande proximidade da moradia para com a barreira, a vegetação traz, para dentro das casas, insetos e ratos.

Materiais artificiais

Para Bandeira (2003), a impermeabilização superficial mostra melhor resultado quando executada em conjunto com o retaludamento e a microdrenagem, tratando o talude de modo completo. Ainda segundo Bandeira (2003), a impermeabilização deve ser executada em toda a superfície a ser protegida, estendendo-a para além do topo do talude até o sistema de drenagem implantado na crista. Recomenda-se a instalação de drenos (barbacãs) que permitam a dissipação de excessos de poro-pressão que possam ocorrer no interior da placa de impermeabilização.

Entre os tipos de materiais artificiais para proteção superficial das encostas podemos citar os seguintes tipos (ALHEIROS et al. 2003):

- Impermeabilização com cimentado: constitui-se de uma mistura de cimento e areia, no traço 1:3, aplicada sobre o talude a partir do pé até a crista. A superfície deve ser preparada, limpa e aplainada. No final, executa-se uma compactação da mistura. Esse tipo de revestimento deve ser acompanhado por barbacãs.

- Impermeabilização com tela argamassada: consiste no preenchimento e revestimento e uma tela galvanizada com argamassa de cimento e areia no traço 1:3. A tela galvanizada é fixa no solo com ganchos de ferro instalados a cada 1,0 m, nas duas direções, sendo necessário colocar drenos de PVC com filtro de geotêxtil na parte interna.

- Impermeabilização com lonas plásticas: utilizadas no inverno, em caráter emergencial, nos morros da Região Metropolitana do Recife. Elas devem ser aplicadas antes da saturação total da encosta e corretamente colocadas, devendo ser retiradas quando as condições de segurança forem adequadas. A encosta deve ser preparada com roçagem, remoção de arbustos e destocamento, deixando apenas gramíneas e vegetação rasteira. Na crista da encosta deve-se escavar uma valeta, servindo de canaleta e de fixação superior da lona. A lona deve ser fixada com estacas de madeira a cada 2,0 m, no máximo, na parte superior e em suas laterais.

- Outra técnica que está sendo bastante difundida em áreas de risco, principalmente na Região Metropolitana do Recife de forma experimental, é gel impermeabilizante. Composto por bio-óleo vegetal e polímero acrílico. Tem a função de evitar a degradação dos solos e proteção contra erosão. O produto tem a capacidade de agregar as partículas de solo impedido a desfragmentação e evitando a infiltração de água no talude (SILVA 2010). Tem como vantagens a aparência mais agradável, quando comparado a lona plástica, maior aceitação da comunidade das áreas de risco, maior custo benefício, devido ao tempo de duração, apresenta vida útil de 2 anos, precisando de reaplicação anualmente.

IV. Drenagem

O ordenamento do escoamento das águas superficiais é uma das medidas estruturais mais importantes para a prevenção de acidentes de deslizamentos em áreas de risco. As obras de drenagem têm por objetivo captar e conduzir as águas superficiais e subterrâneas das encostas, evitando a erosão, infiltração e o acúmulo da água no solo, responsáveis pela deflagração de deslizamentos. Essas águas podem ter origem natural (chuvas, minas e fontes), sendo, em geral, concentradas por diversos tipos de intervenção nas encostas (sistemas viários, escadarias de acessos e as próprias edificações), e podem se originar também das águas servidas e descartadas na forma de esgoto lançadas de forma desordenada encosta abaixo. Todas as obras de contenção têm a drenagem como uma das suas mais importantes medidas complementares. Em muitos casos, envolvendo áreas de risco de deslizamento com núcleos habitacionais de ocupação precária nas encostas, os sistemas de ordenação do escoamento da drenagem superficial são as medidas mais importantes para a estabilidade das encostas. Existem diversos tipos de obras de drenagem. A drenagem superficial pode utilizar valas revestidas, canaletas, canaletas pré-moldadas, guias e sarjetas, tubos de concreto, escadas d'água, caixas de dissipação, caixas de transição. A drenagem das águas subterrâneas pode ser realizada por trincheiras drenantes ou por drenos profundos. Todos esses tipos de obras de drenagem devem ser devidamente dimensionados em função da vazão e da quantidade de água que o sistema deve conduzir (BRASIL, 2007a).

4.3.1.2 - Obras com estrutura de contenção

Obras de contenção são estruturas alocadas numa encosta ou talude, que oferecem resistência à movimentação ou à ruptura dessas vertentes, podendo reforçar parte do maciço. São obras, que normalmente são mais caras do que as obras sem estrutura de contenção.

Muros de gravidade

Os muros de gravidade, também chamados de muro de arrimo, podem ser executados a partir do uso de diversos materiais (pedra, concreto, pneus etc) e são utilizadas quando as solicitações são reduzidas, já que para solicitações maiores é necessário um maior espaço para implantação, elevando o custo de sua execução. A principal característica dessa obra é a utilização do próprio peso do muro para garantir a estabilidade de um talude, sendo necessária a instalação de sistemas de drenagem para evitar o surgimento de pressões hidrostáticas. A escolha de um muro depende dos seguintes fatores: condição da fundação; tipo de solo do

aterro; disponibilidade de espaço e acessos; sobrecarga; altura do muro; custo dos materiais disponíveis; e qualificação da mão-de-obra (HENRIQUE, 2014).

Silva (2010) aponta tipos de muros de gravidade para contenção de taludes, tais como:

- a) Muro de Pedra Rachão: Apresenta uma estrutura rígida e de fácil execução, sendo uma das técnicas bem difundidas na região e que necessita de mão de obra pouco especializada. Esse tipo de muro é executado com o emprego de alvenaria com argamassa de cimento e areia e de pedras graníticas. Os espaços internos da estrutura devem ser preenchidos com argamassa e a superfície do topo deverá ser revestido com o mesmo material, com espessura mínima de 2 cm. Vale ressaltar, que esse muro não é adequado para terrenos com baixa capacidade de suporte, já que não suportam deformações.
- b) Muro Gabião: As principais características dos muros de gabões são: a alta flexibilidade, o que permite deformações diferenciais do retro aterro e do terreno de fundação do muro; a alta resistência; e a alta permeabilidade, que garante a drenagem da encosta e a ausência de empuxo hidrostática no tardo do muro. São muros indicados para terrenos com baixa capacidade suporte e podem ser executados com mão de obra com um mínimo de treinamento. Em áreas urbanas, sua implantação deve estar acompanhada de campanhas sociais, objetivando uma conservação adequada do muro e evitando a retirada das pedras por parte da população.
- c) Muro de Concreto Ciclópico: Esse muro não é recomendável para a contenção de taludes com altura máxima entre 4 e 5 metros e a mão de obra para sua execução exige alguma qualificação. O concreto ciclópico utilizado deve ser formado por 70% de concreto estrutural e 30% de pedra rachão granítica (isenta de impurezas), não intemperizada. O concreto, seus componentes e formas devem atender as especificações do projeto.
- d) Muro de Concreto Armado: Podem ser de vários tipos e sua principal característica é a diminuição do volume da estrutura de arrimo. Sua estabilidade é garantida pelo peso do retro aterro, que age sobre a laje da base, fazendo com que o conjunto muro-aterro funcione como uma estrutura de gravidade. Os principais tipos utilizados são: muros em L (ou T invertido); muros com contrafortes no interior do retro aterro (trabalham à tração); e muros com gigantes em sua face externa (trabalham à compressão).
- e) Muro de Solo Cimento Ensacado: Também conhecido como rip-rap, esse tipo de muro faz o uso de sacos de solo estabilizado com cimento para a contenção de encostas. São utilizados para solos que apresentam baixa capacidade de carga, pois sua estrutura é flexível; e também para a recomposição de taludes degradados pela erosão. Algumas vantagens dessa obra são a facilidade de execução do muro com forma curva (adaptada à topografia local) e a

adequabilidade do uso de solos residuais de rocha granítico-gnássica. A mão de obra utilizada, nesse caso, necessita de um treinamento mínimo.

- f) Muros de Solo-pneu: De fácil execução e baixo custo, é um tipo de muro com boa drenagem e que utiliza o solo da própria encosta associado com uma estrutura montada de pneus descartados, amarrados uns aos outros segundo um arranjo conforme a altura da encosta e dimensões do muro;

Solo reforçado

Genericamente, se pode dizer que os solos reforçados são a combinação de dois materiais que se juntam, dotando o material resultante da capacidade de resistência a compressão de um (solo), com a capacidade de resistência a tração do outro (reforço) (SILVA & EHRLICH, 1992). De acordo com EHRLICH & SILVA (1992 a), a técnica de reforço do solo tem um potencial de utilização bastante extenso. Atualmente é amplamente empregada em sistemas de contenção. A principal vantagem dos sistemas de solo-reforçado relativamente aos convencionais está no baixo custo e nas facilidades executivas. Este sistema apresenta como vantagens não necessitar de equipamentos pesados para a sua execução; há boa tolerância em relação às deformações; o revestimento da face não tem função estrutural; e a estabilidade é feita localmente. Entre as formas de solo reforçado, Santana (2006) destacou as seguintes técnicas:

- a) Terra Armada: Consiste em reforçar o solo com fitas metálicas ou geossintéticos, em que o maciço reforçado fica faceado por painéis pré-fabricados de concreto. Atualmente os geossintéticos são os mais utilizados, podendo ser incorporados aos muros de arrimo, aterros e em todas as obras onde se faz necessário estabilizar o material inconsolidado. Como vantagens deste sistema cita-se a utilização do material local (solo) e estrutura flexível tolerante a recalques diferenciais e como desvantagem pode-se mencionar a durabilidade;
- b) Cortina Atirantada: É o reforço do maciço com a inclusão de barras ancoradas no terreno e por meio de injeção de calda de cimento na parte inferior dos elementos, forma o bulbo de ancoragem ligado, à parede estrutural por meio da cabeça do tirante. Este sistema vence qualquer altura, porém possui alto custo e execução lenta;
- c) Solo Grampeado: Técnica de melhoria de solos que permite a contenção de taludes com execução de chumbadores, concreto projetado e drenagem. Os chumbadores promovem a estabilização geral do maciço, o concreto projetado dá estabilidade local junto ao paramento. A estabilização do maciço ocorre passivamente, é necessário que haja uma deformação do maciço para que o grampo comece a trabalhar. Possui baixo custo, é

executado com equipamentos leves, adapta-se às condições locais, suporta deformações e rápida execução.

4.3.1.3 - Obras de proteção para massas movimentadas

Para Brasil (2010) as obras de proteção para massas movimentadas consistem em permitir a ocorrência do processo, ou seja, não são obras que impedem a ocorrência dos deslizamentos ou erosões, mas que os deixam acontecer, protegendo o que está vulnerável. Ainda segundo os mesmos autores as obras de proteção são as seguintes:

Proteção com Barreiras Vegetais

As barreiras vegetais têm como finalidade reter massas escorregadas ou transportadas por processos de erosão de montante, que pode trazer risco de acidentes para ocupações ou infraestruturas a jusante. A retenção desses materiais cumpre ainda um importante papel de redução de solos no processo de assoreamento das áreas baixas e das calhas de rios e canais, atenuando as inundações.

Proteção com Muro de Espera

Os muros de espera são obras similares aos muros de arrimo já apresentados, porém com a finalidade de impedir a passagem de massas escorregadas ou transportadas por processos de erosão, que podem ocorrer a montante. Eles podem ser de pedra rachão, solo-cimento, solo-pneu, etc. Em virtude do alto custo de execução, eles aplicam-se apenas às situações em que outras barreiras (como as vegetais, por exemplo), não têm capacidade de contenção do material, e representam um risco para ocupações ou infraestruturas a jusante. Uma vantagem em relação às barreiras vegetais é o menor tempo para sua execução, podendo ser usada como solução emergencial.

4.3.1.4 - Obras estruturais relacionadas a enchentes e inundações

Obras de controle e prevenção de enchentes e inundações incluem a recomposição da cobertura vegetal, o controle das áreas de produção de sedimentos, a redução da rugosidade dos canais por desobstrução, a construção de reservatórios para controle de inundações, construção de diques, modificações na morfologia dos rios (retificação da calha do rio) e canalização. Medidas estruturais de prevenção de acidentes contra enchentes e inundações compreendem obras de engenharia de macro e micro drenagem, em função basicamente da escala de abordagem e enfrentamento do problema. Compreendem, a grosso modo, obras de canalização, retificação, alargamento, aprofundamento, estabilização e proteção de taludes marginais, e

obras de detenção ou retenção (piscinões). Grande maioria dos projetos visam apenas os problemas pontuais, sendo esquecida a necessidade de se estudar a bacia de uma maneira mais ampla. Cada problema precisa ser avaliado para se determinar qual a obra mais eficaz, principalmente em relação aos processos e custos envolvidos. Todas estas obras necessitam de acompanhamento técnico especializado (BRASIL, 2007a).

4.3.2 - Medidas não estruturais

As ações não estruturais são parte das atividades de gerenciamento de risco e compreendem um conjunto de medidas estratégicas, sem envolver obras de engenharia, voltadas para a redução do risco e de suas consequências, utilizando-se de ferramenta de gestão e mudança de comportamento pelo poder público, pelos moradores das áreas de risco e pela sociedade no geral. São aquelas em que se aplica um rol de medidas relacionadas a políticas urbanas, planejamento urbano, legislação, planos de defesa civil, formas monitoramento permanente e educação. São consideradas tecnologias brandas e normalmente, tem custo muito mais baixo que as medidas estruturais, além de apresentar bons resultados, principalmente na prevenção de desastres (COUTINHO E BANDEIRA, 2012)

Segundo Vedovello e Macedo (2007), a participação da comunidade deve se dar tanto no sentido de compreender globalmente a relação entre deslizamentos e inundações – interferência antrópica – perigos– riscos (para colaborar com a prevenção), como no sentido de participar da definição e operacionalização dos mecanismos de gerenciamento e mitigação, para envolver-se na minimização de desastres. Assim, ações de caráter educativo e de capacitação técnica são fundamentais para que a compreensão, a cooperação e o consenso sejam obtidos.

Brasil (2010) cita algumas medidas não estruturais, onde podemos destacar:

1. Definir e implementar o modelo de gestão de risco que atenda aos problemas do município;
2. Fortalecer a Defesa Civil e o Controle Urbano Municipal através da ampliação e capacitação dos quadros técnicos, da melhoria das condições de infraestrutura e do respaldo político da gestão municipal;
3. Conhecer os processos destrutivos e o mapeamento das áreas de risco, bem como propor medidas de mitigação e redução de risco;
4. Garantir o monitoramento permanente dos setores de risco alto e muito alto, atualizando os cadastros das famílias que ocupam estes setores;
5. Considerar a redução de risco nos Planos Diretores Municipais;

6. Realizar ações de conscientização dos moradores para os problemas da área que ocupam;
7. Montar Planos de Contingência para o período de chuvas;
8. Elaborar o Plano Municipal de Redução de Risco para o planejamento das intervenções de obras necessárias.

Brasil (2007a) elenca seis principais medidas não estruturais que devem ser levadas em consideração na gestão municipal do risco dos riscos. São elas: planejamento urbano; política ambiental; pesquisas (conhecimento das áreas); sistemas de alerta e contingência; educação e capacitação. Ainda segundo os mesmos, a decisão de executar uma dada medida seja ela estrutural ou não estrutural, voltada a reduzir ou eliminar os riscos deve ser balizada pelo diagnóstico correto dos cenários potenciais de risco. Somente o correto diagnóstico qualitativo e se possível quantitativo do risco efetivo, permitirá hierarquizar as áreas de risco e planejar as ações e disponibilizar os recursos para a realização das medidas estruturais e/ou não estruturais possíveis de serem adotadas.

METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE, SUSCETIBILIDADE/PERIGO E DO RISCO

Neste capítulo será apresentada a metodologia qualitativa desenvolvida pelo GEGEP / UFPE para o mapeamento da vulnerabilidade, suscetibilidade e do risco aos processos de movimento de massa e inundações a qual foi aplicada no município de Moreno-PE.

5.1- INTRODUÇÃO

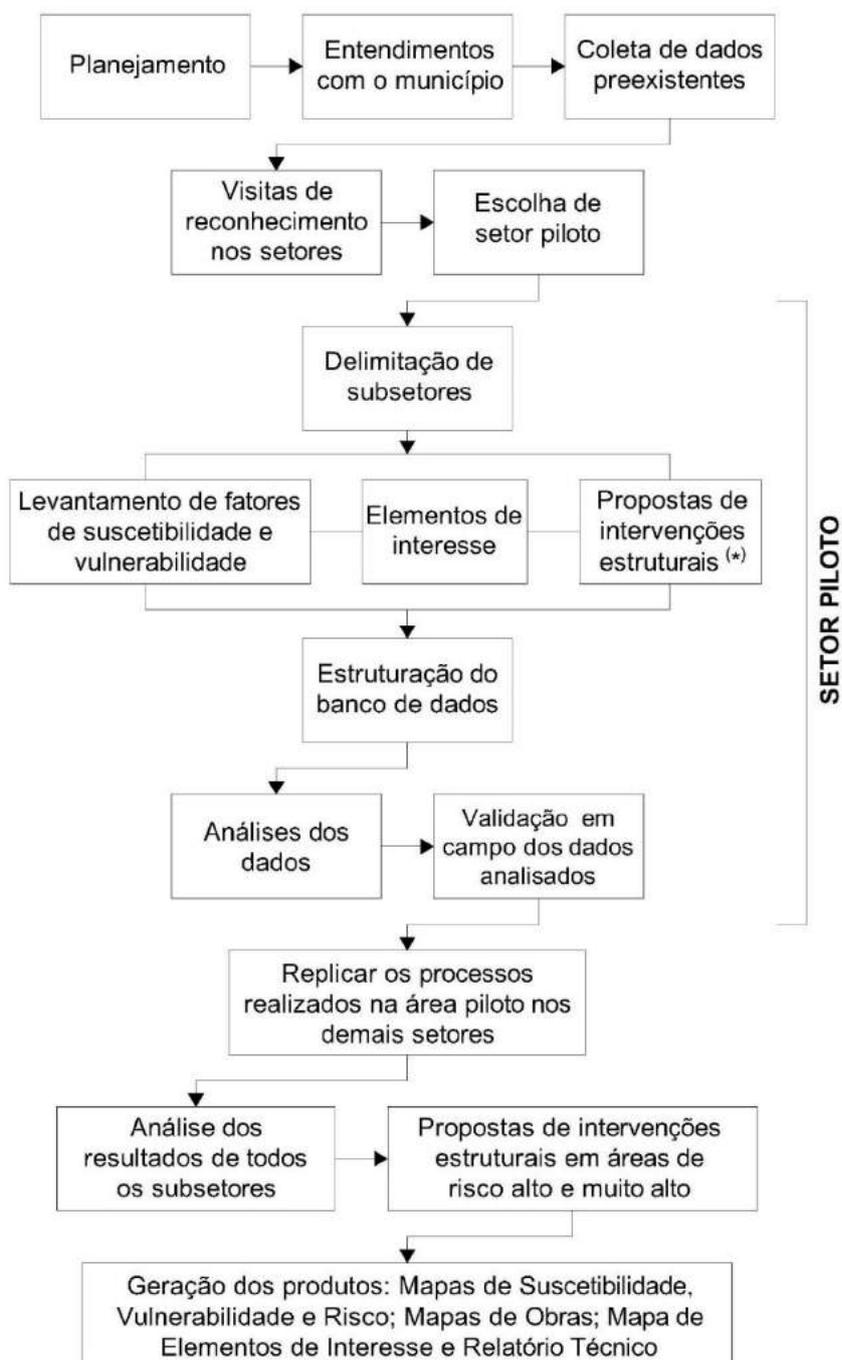
Para elaboração desta metodologia foi realizado um extenso estudo sobre metodologias existentes, buscando fundamentação teórica sobre o tema. Para análise da suscetibilidade foram consideradas as experiências do GEGEP/UFPE em mapeamentos de risco já desenvolvidos na Região Metropolitana do Recife, enquanto que para a análise da vulnerabilidade o conhecimento da equipe multidisciplinar que constitui o grupo foi fundamental para elaborar mecanismos de avaliação. Assim foi construída a metodologia, a fim de diagnosticar o risco nas áreas estudadas. Essa metodologia foi aplicada inicialmente no município piloto do Ipojuca, após avaliação e complementações pertinentes ela foi aplicada nos municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Jaboatão e Moreno em cumprimento a parceria que o GEGEP/UFPE firmou junto ao Ministério da Integração Nacional. Devido à complexidade do tema e a diversidade de cenários no país, essa metodologia trata-se de um trabalho que está em constante aperfeiçoamento e evolução.

Fazem parte do desenvolvimento metodológico atividades em campo e de escritório, contando sempre com o apoio da Defesa Civil municipal e de outras secretarias pertinentes. As atividades de coleta de informações em campo são realizadas através de formulários desenvolvidos pela equipe.

5.2- ETAPAS DA METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia é apresentado na Figura 5.1 e na sequência encontra-se uma breve descrição de cada etapa. A metodologia é pertinente para todos os processos estudados.

Figura 5.1 – Fluxograma da metodologia de mapeamento e avaliação de risco de deslizamentos e inundações.



(*) Devido à área piloto tratar-se de uma atividade preliminar, foram consideradas as propostas de intervenções estruturais, independente do resultado da análise de risco.

I. Planejamento:

Foram adquiridos equipamentos e materiais para realização do trabalho de campo, como: GPS, máquinas fotográficas, coletes de identificação, crachá, pranchetas, entre outros. Houve a elaboração de um cronograma de todas as atividades a serem executadas em campo e escritório, treinamentos com a equipe, relativos ao preenchimento dos formulários e precauções necessárias para o desenvolvimento do trabalho. Além da determinação das áreas a serem mapeadas com base no levantamento feito pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que identificaram áreas com risco alto e muito alto, do município de Moreno.

II. Entendimento com o município:

Após o planejamento das atividades, o projeto foi apresentado ao prefeito, secretários e à Defesa Civil do município e os setores de risco a serem estudados foram expostos aos representantes em forma de mapas. Nesta fase, a Defesa Civil sugeriu a substituição de alguns setores que já possuem intervenções (grau de risco reduzido) e/ou que foram desocupados, por áreas julgadas mais preocupantes devido ao número de ocorrências de deslizamentos, erosões ou inundações e, ainda, por áreas sujeitas à ocupação irregular. Este entendimento foi concretizado após as visitas de reconhecimento em cada um dos setores. Nesta etapa também foi solicitado o apoio da Defesa Civil para o acompanhamento dos trabalhos em campo, tendo em vista que a participação dos técnicos auxilia na exploração dos locais mais críticos e no conhecimento de eventos anteriores em cada uma das áreas.

Figura 5.2 – Reunião de apresentação do projeto com gestores do município de Moreno.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

III. Coleta de dados preexistentes:

Foram coletadas informações preexistentes do município com a prefeitura e CONDEPE-FIDEM, tais como: mapa plani-altimétrico (topografia) na escala 1:10.000, base georreferenciada (unibase), estudos geológicos, índices socioeconômicos, histórico de ocorrências de deslizamentos, projetos de intervenções, dados pluviométricos e documentos importantes para o desenvolvimento dos trabalhos, como o Plano Diretor e Plano de Contingência. Buscaram-se dados dos setores censitários do IBGE (2010) para a obtenção de informações preliminares que complementam e validam a caracterização de cada uma das áreas estudadas, como por exemplo, índices socioeconômicos. Para este trabalho foram utilizadas imagens do satélite QuickBird referentes ao ano de 2008 e imagens de 2015 e de 2016 disponível no Google Earth.

IV. Visitas de reconhecimento:

Com o intuito de reconhecer as características físicas de cada um dos setores de risco, foram realizadas visitas técnicas que permitiram um melhor planejamento dos estudos de detalhe e dimensionamento da logística de campo. Nesta fase foram identificados os padrões de ocupação dos setores, as principais feições geomorfológicas, as bacias hidrográficas, a pedologia e a geologia presentes nas áreas estudadas (Figura 5.3 e 5.4).

Figuras 5.3 e 5.4 – Visitas de reconhecimento da pedologia e geologia nos setores de risco em Moreno.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

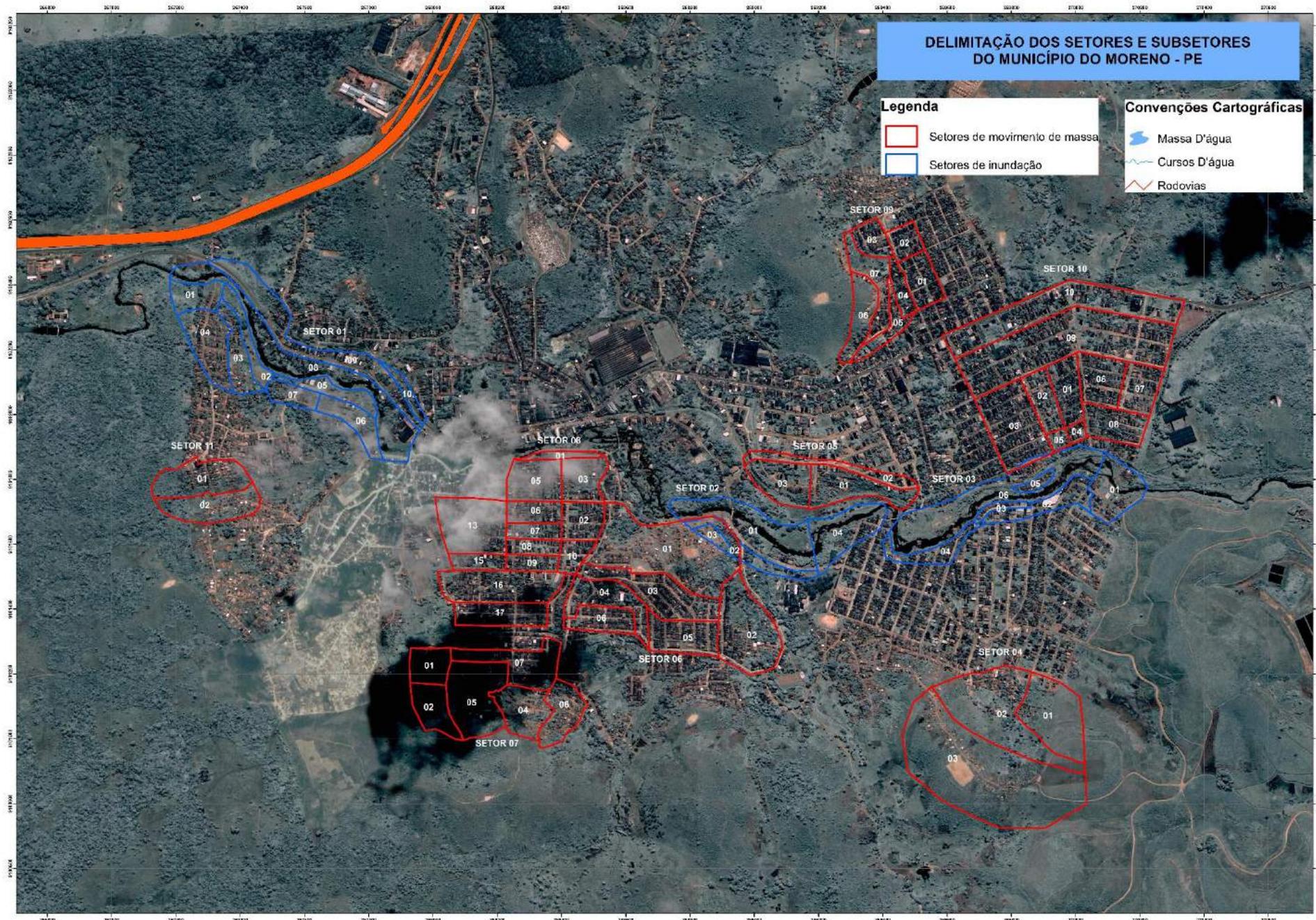
V. Escolha de setor piloto:

Inicialmente foi determinado um setor piloto do município para a aplicação e validação da metodologia. Todas as etapas de trabalho foram realizadas inicialmente nesta área piloto e após a validação da metodologia, o modelo foi aplicado nos demais setores de risco. Foi escolhido o Setor 10 devido à alta incidência de intervenção antrópica e número de registros de escorregamentos nas encostas.

VI. Delimitação de subsetores:

Iniciado os trabalhos em campo foi possível observar que alguns setores de risco do município eram muito grandes, além de conter processos físicos atuantes diferentes (movimento de massa, transporte de massa e/ou inundação no mesmo setor), padrão construtivo desigual, características da encosta pouco similares e, ainda, abrangendo áreas com graus de riscos diferentes. Estas características encontradas em um mesmo setor de risco dificultam a sua análise e, diante disso, alguns dos setores foram subdivididos em subsetores. Com isso, a unidade territorial utilizada para analisar e determinar o grau de risco neste trabalho será apenas o subsetor, delimitado de forma homogênea, observando fatores físicos, antrópicos e ambientais semelhantes, tais como: geologia, relevo, cobertura vegetal, drenagem, forma de ocupação, padrão construtivo das edificações, destino dos efluentes, tipo de abastecimento de água entre outros. A Figura 5.5 apresenta os setores e subsetores de movimento de massa (em vermelho) e os de inundação (em azul) do município de Moreno.

Figura 5.5 - Exemplo de delimitação de setores e subsetores no município de Moreno.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

VII. Levantamento dos fatores de vulnerabilidade e suscetibilidade:

No setor piloto, foram coletadas as informações de vulnerabilidade físico-ambientais e socioeconômicas, propostas nesta metodologia, através de entrevistas com auxílio de formulários em 25% das residências de cada subsetor, buscando escolher as mais representativas da área (Figuras 5.6 e 5.7). Portanto, a avaliação da vulnerabilidade foi realizada em forma de amostragem, sempre entrevistando os responsáveis pela residência ou, na sua ausência, residentes maiores de 18 anos. Os índices de suscetibilidade foram analisados pelos estudantes de pós-graduação à frente do mapeamento e com auxílio de especialistas da área, observando o entorno das edificações e as características gerais para cada subsetor e setor de risco. Os indicadores de vulnerabilidade e suscetibilidade serão apresentados nas próximas seções deste capítulo.

Figuras 5.6 e 5.7 – Exemplo de residências representativas nas áreas estudadas do município.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

VIII. Elementos de interesse:

Simultaneamente à coleta de dados de vulnerabilidade e suscetibilidade, foram levantadas as possíveis estruturas que podem servir de apoio ao município em caso de desastres, tais como: escolas, órgãos públicos, órgãos de segurança e socorro, associações e clubes, hospitais, unidades de saúde, entre outros (Figura 5.8). Estas estruturas de apoio servem de abrigo aos desalojados e atendimento aos feridos em casos de acidentes nas encostas ou inundações. A localização desses elementos foi obtida por meio de GPS e armazenados no Datum WGS84, sistema de projeção UTM. Para a composição do grau de vulnerabilidade, considerou-se que estes equipamentos se localizam próximos ao setor de risco investigado, distanciando-se em geral de seu limite em até 3 (três) quilômetros.

Figura 5.8 - Exemplo de elemento de interesse: Hospital Memorial Armindo Moura.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

IX. Propostas de intervenção:

Devido à área piloto tratar-se de um exercício, foram propostas intervenções estruturais, independente do resultado da análise de risco, sugerindo tratamentos economicamente viáveis e mais fáceis de executar. O quantitativo das intervenções foi elaborado a partir de medidas aproximadas, levantadas em campo, para as estruturas de proteção ou contenção. Na produção do orçamento das obras de cada um dos subsetores foi utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao mês de dezembro de 2015.

X. Estruturação do banco de dados:

Todas as informações de vulnerabilidade, suscetibilidade, elementos de interesse e propostas de intervenção foram armazenadas em um banco de dados criado no *software Microsoft Office® Access*, versão 2010. Os formulários de campo foram digitalizados, identificados por meio de coordenadas geográficas e, portanto, cada casa entrevistada de cada um dos subsetores delimitados contém sua referência espacial.

Criou-se um arquivo de extensão “.accdb” compartilhando informações através de uma rede interna. A conexão de rede possibilitou a utilização multiusuário do arquivo, editando informações à medida que os formulários de campo fossem transcritos ou digitalizados. Foi construído um modelo de tabela que abrigou detalhadamente cada resposta dos itens dos formulários obtidos em campo. A relação entre as tabelas foi possibilitada por meio da chave primária, que é uma numeração única para cada novo registro existente no banco de dados. Mediante a grande quantidade de informações que necessitaram ser transcritas através das

tabelas, foi necessária a criação de formulários de entrada no banco de dados (idêntico ao formulário aplicado em campo) para agilizar esta transcrição.

XI. Análises dos dados:

Com o banco de dados estruturado e os formulários transcritos, inicia-se a análise das informações coletadas. Preliminarmente foram feitas considerações importantes para a caracterização da área inicial de estudo, como a obtenção de valores de inclinação, altura e extensão da encosta por meio de modelo digital de elevação através da ferramenta *Slope (SpatialAnalyst)*. Com a estruturação de todos os graus e pesos dos indicadores, partiu-se para as análises do grau de vulnerabilidade e suscetibilidade, chegando-se finalmente ao grau de risco por subsetor, a partir de planilhas de cálculo elaboradas no *software* Excel.

XII. Validação em campo dos dados analisados:

Depois de gerado o grau de risco da área piloto, retornou-se a campo para revisar os resultados obtidos em escritório, realizar adaptações necessárias e finalmente validar a metodologia para a sua utilização nos demais subsetores do município em questão.

XIII. Replicar os processos realizados na área piloto nos demais setores:

Após a validação da metodologia, iniciou-se a aplicação do modelo nos demais setores e subsetores, respeitando toda a metodologia descrita entre as etapas VI a XII.

XIV. Análises dos resultados de todos os subsetores:

Depois de gerados os graus de vulnerabilidade, suscetibilidade e risco de todos os subsetores do município, verificou-se em campo e em escritório a veracidade de cada um dos indicadores, seus graus e pesos. Os ajustes necessários para calibrar o modelo consideram, principalmente, as características particulares do município.

XV. Propostas de intervenções estruturais em áreas de risco alto e muito alto

Após a obtenção do grau de risco de todos os subsetores, foram sugeridas soluções de engenharia para cada uma das áreas de risco alto e muito alto, bem como seu quantitativo e valores aproximados.

XVI. Geração dos produtos:

Com os resultados gerados nas planilhas de cálculo, os valores obtidos foram espacializados utilizando o programa ArcMap 10.1 do ArcGIS- ESRI (2012) e foram elaborados os mapas de vulnerabilidade, suscetibilidade e risco de movimento de massa e inundação de cada subsetor, indicando as áreas de risco baixo, médio, alto e muito alto. Como parte do produto final, também foi confeccionado o relatório técnico, foram gerados os mapas de propostas de intervenções nos setores diagnosticados como alto e muito alto, e ainda a localização espacial de cada elemento de interesse coletado durante os trabalhos de campo.

Durante o mapeamento, como atividade paralela, foram realizadas entrevistas com gestores do município com o intuito de conhecer melhor as formas de enfrentamento de desastres, bem como a vulnerabilidade institucional do município.

Outra atividade paralela abordada foi a aplicação de formulários ligado ao tema da resiliência a fim de compreender a percepção e o potencial de resiliência das comunidades localizadas nos subsetores.

As próximas seções deste capítulo detalham a metodologia de análise da vulnerabilidade, suscetibilidade e do grau de risco.

5.3 - METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE EM ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTO DE MASSA

Nas áreas sujeitas a processos de movimentos de massa, a metodologia consta da análise de fatores de vulnerabilidade nas dimensões físico-ambientais e socioeconômica e culturais; e de suscetibilidade conforme indicadores geológico-geotécnicos, geomorfológicos e de uso e ocupação do solo. O risco é determinado por uma matriz de correlação entre o grau de suscetibilidade e o grau de vulnerabilidade.

5.3.1-Metodologia para a análise da vulnerabilidade em áreas de movimento de massa

Buscou-se caracterizar a vulnerabilidade dos processos a partir de duas dimensões:

- a) *Físico-ambiental*: envolve os fatores e indicadores que podem estar associados à vulnerabilidade física no nível da edificação, no seu entorno e no bairro.
- b) *Socioeconômica e cultural*: envolve os fatores e indicadores que podem estar associados às dimensões socioculturais e econômicas, no que se refere à condição de indivíduos ou grupos em situação de fragilidade, que os tornam expostos aos riscos. Além de considerar aos equipamentos comunitários importantes encontrados no setor, bem como

às condições dos locais que podem servir de potenciais abrigos ou para prestar socorro em caso de acidente.

A partir destas duas dimensões foram listados os principais fatores e indicadores de vulnerabilidade, conforme o Quadro 5.1.

Quadro 5.1– Definição dos fatores de vulnerabilidade físico-ambiental e socioeconômico cultural.

| Físico-ambiental | Socioeconômica e cultural |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade de edificações; - Características da edificação; - Características do acesso à edificação; - Características do acesso ao subsetor; - Localização da edificação; - Infraestrutura básica: Abastecimento de água, coleta de lixo, esgotamento sanitário e fornecimento de energia elétrica. | <ul style="list-style-type: none"> - Densidade demográfica (hab/ha); - Renda domiciliar; - Capacidade de mobilidade/autonomia; - Grau de escolaridade; - Acesso aos meios de comunicação; - Problemas sociais; - Organização e liderança comunitária; - Treinamento de moradores; - Distância dos elementos de interesse. |

Fonte: Coutinho (2015).

Para cada indicador foram gerados subindicadores, com base em dados do IBGE, visitas in loco, levantamentos realizados e na experiência dos pesquisadores. Foram confeccionados formulários para coleta destes fatores em campo, conforme o exemplo apresentado na Figura 5.9, referente à página 1 do Formulário 01 – Identificação dos Fatores Físicos e Ambientais de Vulnerabilidade de Elemento Exposto.

Na medida em que foram sendo coletadas as informações na área de estudo, verificou-se a necessidade de ajustes e aperfeiçoamento nos indicadores, buscando caracterizar de melhor forma os fatores associados à vulnerabilidade do município.

Para exemplificar, na Tabela 5.1 apresentam-se os subindicadores do indicador “Características da edificação”, seus intervalos, graus, pesos e justificativas. O somatório de pesos de todos os subindicadores de cada indicador é sempre igual a 1,0.

Figura 5.9 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de vulnerabilidade Físico-ambiental, pág. 1.

| FORMULÁRIO 01 - IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES FÍSICOS E AMBIENTAIS DE VULNERABILIDADE DE ELEMENTO EXPOSTO | | |
|--|--|--------------------|
| PROFISSIONAL: | DATA: | |
| 1- IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA | | |
| CÓDIGO DO SETOR DE RISCO: | | |
| CÓDIGO DO ELEMENTO EXPOSTO: | TIPO ¹ : | |
| Endereço: | | |
| Número: | Complemento: | |
| Bairro: | Município: | Estado: |
| Respondente: | Fone contato: | Líder Comunitário: |
| COORDENADAS GEOGRÁFICAS: | Fone: | |
| Croqui (Utilizar imagens cedidas. Identificando o elemento) | Características Do Elemento Exposto - Foto do Elemento | |
| 2 - CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO EXPOSTO (EDIFICAÇÃO) E DO ACESSO | | |
| 2.1 - Tipo de Edificação: 1 Isolada 2 Conjugada 3 Edifício 4 Prédio comercial 5 Outro <input type="checkbox"/> | | |
| Qual? _____ N ^o de Cômodos _____ N ^o de Pavimentos _____ Área construída _____ m ² | | |
| 2.2 - Material das Paredes: 1 Concreto pré-moldado 2 Alvenaria 3 Taipa revestida 4 Material não durável (a taipa não revestida b madeira aproveitada c palha d outro material não durável) <input type="checkbox"/> | | |
| 2.3 - Cobertura: 1 Telha Cerâmica 2 Laje de concreto 3 Cimento-amianto /Alumínio 4 Material não durável (a zinco b madeira aproveitada c palha d outro material não durável) <input type="checkbox"/> | | |
| 2.4 - Piso: 1 terra batida 2 cimento 3 cerâmica 4 outro <input type="checkbox"/> Qual? _____ | | |
| 2.5 - A edificação apresenta sinais de danos? 1 Sim 2 Não <input type="checkbox"/> Quais? _____ | | |
| 2.6 - Acesso à Edificação: 1 Pavimentada (a Rodovia b Avenida c Rua) 2 Sem pavimentação (a Rodovia b Avenida c Rua) 3 Ponte 4 Rampa (a Construída b Natural) 5 Escadaria (a Construída b Natural) | | |
| 2.7 - Qualidade do Acesso: 1 Muito bom 2 Bom 3 Regular 4 Precário <input type="checkbox"/> | | |

¹Elemento Exposto Edificação entende-se como: Unidade habitacional, igreja, escola, hospital, posto de saúde, outras estruturas. Elemento Exposto Infraestrutura entende-se como: Rodovia, gasoduto, subestação de energia, estações de tratamento de água ou esgoto, outros. As informações referentes a esta categoria serão preenchidas no item 4 do formulário 1.

Tabela 5.1 – Exemplo de indicador, seus subindicadores e respectivos graus e pesos.

| INDICADOR: CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------|--|
| Subindicador | Intervalo do Subindicador | Grau | Peso | Justificativa |
| Tipo Edificação | Moradia isolada | V1 | 0,2 | A proximidade das moradias e o número de pessoas que transitam nestes espaços. |
| | Moradia conjugada | V2 | | |
| | Edifício | V3 | | |
| | Prédio comercial | V3 | | |
| | Igreja / Prédios Públicos / Escolas | V4 | | |
| Material da parede | Concreto pré-moldado | V1 | 0,3 | Características de resistência e suporte estão associadas à vulnerabilidade. |
| | Alvenaria | V2 | | |
| | Taipa revestida | V3 | | |
| | Material não durável | V4 | | |
| Cobertura | Laje de concreto | V1 | 0,2 | Características de resistência e suporte estão associadas à vulnerabilidade. |
| | Telha cerâmica | V2 | | |
| | Cimento-amianto | V3 | | |
| | Material não durável | V4 | | |
| Piso | Cerâmica | V1 | 0,1 | Características de resistência e suporte estão associadas à vulnerabilidade. |
| | Cimento | V2 | | |
| | Taco e madeira | V3 | | |
| | Terra batida | V4 | | |
| Danos | Fissuras | V2 | 0,2 | A presença de danos é indicativa de aumento da vulnerabilidade da edificação. |
| | Rachaduras | V4 | | |

Fonte: Coutinho (2015).

5.3.2 - Determinação do grau de vulnerabilidade

Cada indicador é analisado a partir da identificação do grau de vulnerabilidade de cada subindicador, que será calculado pela média ponderada dos seus intervalos. Os fatores recebem notas 1 (baixo), 2 (médio), 3 (alto), 4 (muito alto) e conforme já mencionado, a cada subindicador são atribuídos pesos.

A Equação 5.1 demonstra o modelo matemático para análise do grau de vulnerabilidade de cada subindicador:

$$GV_{Sub} = Gint_{Sub} \times P_{Sub} \quad (\text{Equação 5.1})$$

GV_{Sub} = Grau de vulnerabilidade do subindicador;

$Gint_{Sub}$ = Grau de vulnerabilidade referente ao intervalo do subindicador. Este valor é obtido com a média aritmética das edificações entrevistadas em cada subsetor;

P_{Sub} = Peso do subindicador.

O grau de vulnerabilidade do indicador é obtido pelo somatório de cada subindicador, que foi obtido na Equação 5.1, conforme a Equação 5.2:

$$GVind = \Sigma GVsub \quad (\text{Equação 5.2})$$

$GVind$ = Grau de vulnerabilidade do indicador;

$GVsub$ = Grau de vulnerabilidade do subindicador.

O grau de vulnerabilidade de cada indicador permite chegar à vulnerabilidade de cada dimensão e através destas é que se chegará ao grau de vulnerabilidade final. As dimensões foram calculadas pela soma dos indicadores multiplicados pelos seus respectivos pesos, como representado na Equação 5.3:

$$GVD = \Sigma (GVind * Pi) \quad (\text{Equação 5.3})$$

GVD = Grau de vulnerabilidade de cada dimensão (físico-ambiental e socioeconômica e cultural);

$GVind$ = Grau de vulnerabilidade do indicador;

Pi = Peso atribuído a cada indicador.

* O somatório dos pesos de todos os indicadores de cada uma das dimensões é sempre igual a 1,0.

Por fim, chega-se ao grau final de vulnerabilidade para cada subsetor. O grau final de vulnerabilidade é determinado pela média dos resultados obtidos para cada dimensão, de acordo com a Equação 5.4:

$$GVf = \frac{(D1 * Pd1) + (D2 * Pd2)}{Pd1 + Pd2} \quad (\text{Equação 5.4})$$

GVf = Grau de vulnerabilidade final;

$D1, D2$ = Vulnerabilidade da dimensão correspondente;

$Pd1, Pd2$ = Peso atribuído a cada uma das dimensões.

* O somatório dos pesos das duas dimensões é igual a 1,0.

Para avaliar o grau de vulnerabilidade, classificou-se os graus de risco em quatro faixas, apresentadas na Tabela 5.2. Isso faz com que o município não apresente, obrigatoriamente, os quatro graus de risco.

Tabela 5.2 – Representação das classes para classificação do grau final de vulnerabilidade.

| Grau | Classe |
|----------------|-----------------------|
| 1 (Baixo) | $\leq 1,75$ |
| 2 (Médio) | $> 1,75$ a $\leq 2,5$ |
| 3 (Alto) | $> 2,5$ a $\leq 3,25$ |
| 4 (Muito Alto) | $> 3,25$ a $\leq 4,0$ |

Fonte: Coutinho (2015).

O questionário institucional realizado com as secretarias municipais, não entrou no cálculo do grau de vulnerabilidade, e sim como avaliador do potencial de preparação e resposta do município em casos de acidentes em encostas ou inundações. O formulário de resiliência também não foi incorporado ao cálculo da vulnerabilidade, mas se trata de parâmetro importante avaliado e que faz parte de futuros trabalhos da equipe GEGEP/UFPE.

5.3.3 - Metodologia para a análise da suscetibilidade em áreas de movimento de massa

Para a análise de suscetibilidade a movimento de massa foi aplicada a metodologia do GEGEP/UFPE, que vem sendo desenvolvida a partir de experiências anteriores da UFPE. Além da metodologia apresentada nesta seção, o grupo GEGEP/UFPE através de um Termo de Cooperação com o Ministério das Cidades que resultou no projeto “Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais”, desenvolve carta de suscetibilidade utilizando a sobreposição de informações ligadas ao tema (COUTINHO, 2014).

Para a metodologia foram elaboradas fichas de campo que permitiram uniformizar os dados a serem coletados, levando em conta os principais grupos de atributos que afetam a estabilidade das encostas e os processos erosivos. Determinaram-se indicadores que geraram subindicadores associados às características de suscetibilidade para movimentos de massa, conforme apresentados no Quadro 5.2.

Figura 5.10 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de suscetibilidade para processo de movimento de massa, pág. 1.



UFPE

**FORMULÁRIO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTO DE MASSA
APLICADO PARA SETOR DE RISCO**



| FORMULÁRIO 01 – IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES DE SUSCETIBILIDADE DO SETOR | |
|---|---|
| Equipe responsável pela identificação: _____ | |
| Geotecnia (responsável): _____ | Data: _____ |
| Geologia: _____ | _____ |
| Pedologia: _____ | _____ |
| Geomorfologia: _____ | _____ |
| DADOS DO SETOR | |
| Critérios adotado para definição do setor: _____ | |
| Código do setor de risco analisado: _____ | |
| Identificação do setor de risco analisado: _____ | |
| Bairro: _____ | Município: _____ Estado: _____ |
| Coordenadas UTM do centro do setor: E(x): _____ N(y): _____ | |
| Identificação do GPS utilizado (): _____ | |
| Croqui (utilizar imagens cedidas, identificando a unidade analisada) | Fotos do setor |
| | |
| 1 – TIPOS DE PROCESSOS ATUANTES NO SETOR | |
| 1.1 – Processo atuante: | |
| (1) Movimento gravitacional de massa (2) Transporte de massa (erosão) (3) Inundação/Enchente | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| 2 – CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DO SETOR | |
| 2.1 – Geologia: | |
| Formação geológica: _____ | |
| Descrição petrográfica: _____ | |
| 2.2 – Presença de maciço rochoso: (1) SIM (2) NÃO, se SIM, dimensões aproximadas (m ²): _____ | |
| <input type="checkbox"/> | |
| 2.3 – Estrutura: | |
| (1) Dobras (2) Descontinuidade (a Falhas; b Fraturas; c Xistosidade; d Diques; e Zona de cisalhamento) | |
| <input type="checkbox"/> | |
| 2.4 – Parâmetros estruturais da descontinuidade: | |
| Densidade (n ^o /m ²): _____ | |
| Parâmetros estruturais (direção e mergulho): _____ | |
| A estrutura é adversa: (1) SIM (2) NÃO, se SIM, quais: _____ | |
| <input type="checkbox"/> | |
| Presença de contraste litológico: (1) SIM (2) NÃO, se SIM, quais: _____ | |
| <input type="checkbox"/> | |
| 2.5 – Granulometria da rocha: | |
| (1) Fina (2) Média (3) Grossa (4) Muito grossa | |
| <input type="checkbox"/> | |

Quadro 5.2 – Indicadores e subindicadores de suscetibilidade a movimento de massa.

| INDICADOR | SUBINDICADOR |
|-------------------------------|--|
| Geológico - Geotécnico | <ul style="list-style-type: none"> - Formação geológica; - Feições estruturais; - Perfil geotécnico (estrutura, litologia e textura); - Características pedológicas; - Evidências de movimento. |
| Geomorfológica | <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de relevo; - Visão geral da encosta do subsetor: altura (m), extensão (m) e inclinação (°); - Classe de curvatura da encosta: vertical e horizontal; - Visão geral do talude de corte/aterro da encosta: altura (m), extensão (m), largura (m) e inclinação (°). |
| Uso e ocupação do solo | <ul style="list-style-type: none"> - Categoria de ocupação: estágio de ocupação, modo de ocupação, predominância das edificações, padrão das edificações; - Cobertura superficial: tipo de cobertura superficial, percentual de desmatamento; - Condição de tratamento: condição do revestimento da encosta, percentual da encosta que apresenta revestimento, condição da estrutura de contenção e percentual, condição do sistema de drenagem e percentual; - Fatores antrópicos: sistema de drenagem superficial, direcionamento do sistema de coleta de água de chuva dos telhados, destino do esgoto, abastecimento de água e fatores agravantes. |

Fonte: Coutinho (2015).

Cada subindicador de suscetibilidade possui intervalos associados a uma escala de quatro termos: 1 (Baixo), 2 (Médio), 3 (Alto) e 4 (Muito Alto). Cada indicador recebeu um peso em função da sua importância, com escala relacionada à probabilidade de acontecer um processo. O grau 1 (Baixo) refere-se a baixa potencialidade para o desenvolvimento dos processos e no grau 2 (Médio), os condicionantes de suscetibilidade no subsetor são classificados de média potencialidade para o desenvolvimento dos processos. Nesta classe pode-se observar a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade, porém incipiente(s). No grau 3 (Alto), os condicionantes de suscetibilidade no subsetor são de alta potencialidade para o desenvolvimento dos processos, observando-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade. Por fim, no grau 4 (Muito Alto), os condicionantes de suscetibilidade são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento dos processos, as evidências de instabilidade são expressivas e presentes em grande número e/ou magnitude, sendo considerada a condição mais crítica. Na sequência serão detalhados o que compõe cada indicador.

I. Indicador Geológico-Geotécnico:

O indicador foi construído a partir de associações das características geológicas, incluindo feições estruturais, geotécnicas, pedológicas e evidências de movimentações, visando a obtenção de uma caracterização detalhada para cada subsetor da área em estudo.

Foram utilizadas informações de mapas geológicos e foi realizado um levantamento em campo, com geólogos, para compor o grau de suscetibilidade de cada subsetor, observando sempre que possível os fatores agravantes do aumento da suscetibilidade, tais como: falhas, intrusões, descontinuidades, dobras, zonas de cisalhamento, entre outros.

Para a caracterização pedológica e do perfil geotécnico foram realizadas investigação de campo com especialistas na área que descreveram visualmente os perfis abertos nos subsetores, seguindo de coleta de amostra de solos caso houvesse a necessidade de análises em laboratório.

Durante a coleta de informações no campo, observaram-se evidências de processos de instabilidade na encosta, cujas informações fornecem indícios da suscetibilidade do meio, podendo indicar tipo de processo, a frequência das ocorrências e assim auxiliar a compor o grau de suscetibilidade.

II. Indicador Geomorfológico:

Neste item, foram observadas em campo, juntamente com especialistas da área, as formas de relevo e classes de curvatura da encosta com o intuito de compreender os aspectos morfológicos da topografia e da dinâmica evolutiva da paisagem, bem como as características morfométricas (altura, extensão, declividade e curvatura verticais). Esses aspectos podem influenciar nos processos gravitacionais, na migração e acúmulo hídrico através da superfície e subsuperfície da vertente. Também foram levadas em consideração as características de altura e inclinação dos taludes de cortes e aterros.

III. Uso e ocupação do solo:

O estudo do uso e ocupação é um fator muito importante para ser levado em consideração durante o mapeamento de risco. A ocupação urbana inadequada e a exploração indevida de uma região podem ocasionar sérios danos socioeconômicos ou até mesmo a perda de vidas. Neste indicador, para o processo de movimento de massa, são verificadas a categoria de ocupação, cobertura superficial, condição de tratamento e fatores antrópicos; já para o processo de inundação foram levantados os tipos e condições do acesso, sistema de drenagem da área e a concentração de água da chuva na superfície.

A categoria de ocupação é avaliada de acordo ao estágio e modo de ocupação, a predominância das edificações e seu padrão. A cobertura vegetal, quando removida, prejudica a proteção natural do talude e pode ocasionar processos de instabilidades. Além da existência de intervenções de obras de engenharia, devem-se analisar especificamente as suas condições,

a presença de drenagem e o estado de conservação. A contribuição da ação antrópica de forma desordenada e não controlada é de grande prejuízo à estabilidade de encostas, como por exemplo no caso de escavações que modificam a sua inclinação natural e influenciam diretamente na estabilidade dos taludes, agravando a instabilização. Ao ocupar as encostas o homem tem a necessidade de destinar suas águas servidas; porém como os locais irregularmente ocupados não dispõem de serviços adequados de esgotamento sanitário e drenagem, muitas das edificações passam a destinar suas águas servidas diretamente na superfície do solo, contribuindo para uma maior infiltração de água no corpo do talude e para ocorrência de processos erosivos.

Para exemplificar, na Tabela 5.3 apresentam-se dois subindicadores do indicador “Uso e ocupação do solo”, seus intervalos, graus, pesos e justificativas. Vale ressaltar que este indicador é composto por muitos outros subindicadores além destes apresentados.

Tabela 5.3 – Exemplo de indicador, seus subindicadores e respectivos graus e pesos.

| INDICADOR: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | | | | |
|--|----------------------------------|-------------|-------------|--|
| Subindicador | Intervalo do Subindicador | Grau | Peso | Justificativa |
| Cobertura superficial | Mata | S1 | 0,6 | O tipo de cobertura superficial da área influencia no desencadeamento dos processos, ou muitas vezes a presença de uma cobertura superficial adequada minimiza seus efeitos. |
| | Capoeira | S2 | | |
| | Vegetação rasteira | S2 | | |
| | Árvore de grande porte | S3 | | |
| | Bananeira | S4 | | |
| | Solo exposto | S4 | | |
| Percentual de desmatamento | Impermeabilizado | S1 | 0,4 | A remoção da vegetação expõe a superfície do solo, deixando assim a área mais suscetível aos processos de movimento e transporte de massa. |
| | 0-25% | S1 | | |
| | 25-50% | S2 | | |
| | 50-75% | S3 | | |
| | 75-100% | S4 | | |

Fonte: Coutinho (2015).

5.2.4 - Determinação do grau de suscetibilidade aos processos de movimento de massa

Este trabalho adotou um método índice de análise relativa, que dá resultados qualitativos aplicados a setores individualizados de encostas. O grau de suscetibilidade de cada indicador é calculado a partir da identificação do grau de suscetibilidade de cada subindicador, que é calculado pela média aritmética dos seus intervalos. Os fatores receberam notas, 1 (Baixo), 2 (Médio), 3 (Alto), 4 (Muito Alto) e a cada subindicador foram atribuídos pesos.

A Equação 5.5 demonstra o modelo matemático para análise do grau de suscetibilidade de cada subindicador:

$$GS_{Sub} = Gint_{Sub} \times P_{Sub} \quad (\text{Equação 5.5})$$

GS_{Sub} = Grau de suscetibilidade do subindicador;

$Gint_{Sub}$ = Grau de suscetibilidade referente ao intervalo do subindicador, obtido através das características em cada subsetor;

P_{Sub} = Peso do subindicador.

O grau de suscetibilidade do indicador é obtido pelo somatório de cada subindicador, que foi obtido na Equação 5.5, conforme a Equação 5.6:

$$GSind = \Sigma GVsub \quad (\text{Equação 5.6})$$

$GSind$ = Grau de suscetibilidade do indicador;

GS_{Sub} = Grau de suscetibilidade do subindicador.

Por fim, chega-se ao grau final de suscetibilidade para cada subsetor, determinado pela média do resultado obtido para cada indicador, de acordo com a equação 5.7:

$$GSf = \Sigma(GSind * Pi) \quad (\text{Equação 5.7})$$

GSf = Grau de suscetibilidade final;

$GSind$ = Grau de suscetibilidade do indicador;

Pi = Peso atribuído a cada indicador.

* O somatório dos pesos de todos os indicadores é igual a 1,0.

Para avaliar o grau de suscetibilidade, nesta metodologia não são observados os valores extremos (mínimo e máximo) obtidos nos subsetores como acontecia nas metodologias de Gusmão *et al* (1992) e na adaptada pelo GEGEP e aplicada em Camaragibe por Bandeira (2003), somente classificou-se os graus de risco em quatro faixas, apresentadas na Tabela 5.4. Isso faz com que o município não apresente, obrigatoriamente, os quatro graus de risco.

Tabela 5.4 – Representação das classes para classificação do grau final de suscetibilidade para movimento de massa.

| Grau | Classe |
|----------------|-----------------------|
| 1 (Baixo) | $\leq 1,75$ |
| 2 (Médio) | $> 1,75$ a $\leq 2,5$ |
| 3 (Alto) | $> 2,5$ a $\leq 3,25$ |
| 4 (Muito Alto) | $> 3,25$ a $\leq 4,0$ |

Fonte: Coutinho (2015).

5.4 - Metodologia para a análise da vulnerabilidade e perigo em áreas suscetíveis a inundação

O GEGEP/UFPE vem desenvolvendo uma série de trabalhos relacionados a processos de inundação. Para a presente pesquisa, foi elaborada uma metodologia qualitativa, abordando análises de vulnerabilidade e perigo, envolvendo profissionais com experiência neste tipo de processo.

Além desta, o grupo está desenvolvendo um método quantitativo para o mapeamento de indicadores de perigo e áreas inundáveis na escala de município, aplicado em Ipojuca-PE. A primeira metodologia utilizada é baseada na simulação hidrológica-hidráulica com o uso dos modelos HEC-HMS e HEC-RAS e a segunda procura identificar as áreas inundáveis de todo o território do município, utilizando o índice topográfico da região e de uma matriz de custo de distância, calculados com o modelo digital do terreno (NETO et al., 2016).

5.4.1 – Metodologia para a análise da vulnerabilidade em áreas de inundação

Para análise da vulnerabilidade à inundação foi empregada a mesma metodologia descrita anteriormente para processos de movimento de massa. Utilizando-se os mesmos formulários, dimensões, indicadores, subindicadores, pesos e equações.

É importante ressaltar que a análise da vulnerabilidade é realizada somente em áreas onde há um dado elemento ou grupo de elementos expostos, passíveis de serem afetados pelo processo. No caso de cursos d'água em que a ocupação inicia distante das suas margens, a vulnerabilidade não entra na análise do grau de risco especificamente na região desocupada. Nas áreas estudadas neste trabalho a ocupação é muito próxima das margens dos cursos d' água.

5.4.2 – Análise do Perigo

Em consentimento com a coordenação do projeto, foram sugeridos dois métodos de análise para a composição do risco junto da vulnerabilidade, ambos denominados de perigo.

Para coletar as informações acerca do perigo em áreas de inundação, foi elaborado um formulário (Figura 5.11) levando em consideração os principais grupos de atributos que desencadeiam o processo: características estruturais do subsetor; características do curso d' água; inventário de inundações passadas e possíveis agentes potencializadores de eventos. As informações contidas na seção de “inventário” referem-se a um evento extremo ocorrido na área e foram obtidas a partir de relato de moradores, evidências no local, fotografias, vídeos e noticiários.

Fazendo uma abordagem geral a respeito de metodologias utilizadas em análises de processos de inundação, destacam-se os seguintes indicadores como os mais relevantes e considerados na literatura atual: altura d' água, velocidade de fluxo, duração, propagação da frente d' água, velocidade de elevação d' água, capacidade de carga e extensão.

Figura 5.11 - Instrumento de coleta e registro: Formulário de perigo para processo de inundação, pág. 1.

| 1. INUNDAÇÃO: LISTA DE FATORES DE CAUSA | |
|---|----------------------|
| Técnico Responsável: | Data: ____/____/____ |
| 1.1 DADOS DO SUBSETOR | |
| Critério adotado para definição do subsetor: | |
| Código do subsetor de risco analisado: | |
| Identificação do setor de risco analisado: | |
| Bairro: | Município: Estado: |
| Coordenadas UTM do centro do subsetor E(x): | N(y): |
| Identificação do GPS utilizado (): _____ | |
| 1.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO SUBSETOR | |
| 1.2.1 - Tipo de acesso à moradia: (1) Rua (2) Avenida (3) Rodovia (4) Ponte (5) Escadaria (6) Misto Caso seja misto, quais: | |
| 1.2.2 - Condições do acesso: (1) Pavimentado (2) Pavimentado/Precário (3) Não pavimentado (4) Misto Caso seja misto, quais: | |
| 1.2.3 - Sistema de drenagem: (1) Satisfatório (2) Parcialmente satisfatório (3) Precário (4) Inexistente | |
| 1.2.4 Concentração das águas de chuva em superfície: (1) Sim (2) Não | |
| 1.3 CARACTERÍSTICA DO CURSO D'ÁGUA | |
| 1.3.1 - Categoria de curso d'água: (1) Rio (2) Riacho (3) Córrego (4) Canal revestido (5) Canal não revestido (6) Outros Caso seja misto, quais: _____ | |
| 1.3.2 - Forma/traçado do curso d'água: (1) Retilíneo (Muito sinuoso) (3) Pouco Sinuoso (4) Retificado | |
| 1.3.3 - Largura máxima do curso d'água (m): _____ | |
| 1.3.5 - Altura máxima do curso d'água (m): _____ | |
| 1.3.4 - Distância das moradias ao eixo do curso d'água (m): (1) 0 - 2 (2) 2 - 5 (3) 5 - 8 (4) > 8 | |
| 1.3.6 - Presença de assoreamento no curso d'água: (1) Sim (2) Não; se SIM quais: (1) Solo carregado para o curso d'água (2) Lixo/Entulho (3) Solapamento das margens | |
| 1.3.7 - Presença de intervenções nas proximidades: (1) Dique (2) Barragem (3) Piscinão (4) Canalização (5) Travessia (6) Sem intervenção | |
| 1.3.8 - Presença de habitação no curso d'água: (1) Sim (2) Não | |
| 1.4 INVENTÁRIO DE INUNDAÇÕES PASSADAS NO SUBSETOR | |
| 1.4.1 - Evidência de eventos passados: (1) Sim (2) Não; se SIM: (1) Marca d'água (2) Informação do morador (3) Transporte de sedimento (4) Outros Máquina () Foto/Arquivo: _____ | |
| Coordenada UTM: GPS () E(x): _____ N(y): _____ | |
| 1.4.2 - Extensão da inundação (m): _____ | |
| 1.4.3 - Altura máxima do evento de inundação (m): _____ | |
| 1.4.4 - Período aproximado do evento: Data: _____ Horário: _____ Precipitação: _____(mm) | |
| 1.4.5 - Intensidade da precipitação: (1) Fraca (2) Média (3) Forte (4) Muito Forte | |
| 1.4.6 - Duração: (1) Rápida (2) Moderada (3) Prolongada | |
| 1.4.7 Capacidade de carga do evento: (1) Baixo (2) Médio (3) Alto | |
| 1.4.8 Velocidade com que a água subiu: (1) Baixa (2) Média (3) Alta | |

Fonte: Coutinho (2015).

A seguir serão apresentadas as formas de obtenção dos graus de perigo pelos métodos 1 e 2. Ambas as metodologias não atribuíram graus e pesos para os indicadores coletados, que foram utilizados como suporte na caracterização e no entendimento do processo que pode ocorrer em cada área.

5.4.2.1- Determinação do grau de perigo: Método 1

A determinação do grau de perigo pelo método 1 ocorreu de forma direta, indicando em cada subsetor, a altura de água máxima alcançada na área / edificações, nos maiores eventos de inundação. Este parâmetro é essencial na correlação com os indicadores de vulnerabilidade, pois permite quantificar com mais clareza os danos e perdas.

A ausência de dados históricos (demanda de âmbito geral para o país) referentes a desastres faz com que este indicador seja de fácil análise e obtenção, já que pode ser verificado nas evidências deixadas em construções, por exemplo. O fato de ser um fator de simples compreensão, de baixa complexibilidade, faz com que os entrevistados (residentes nas comunidades) não tenham dificuldades de expressá-lo. As faixas para a definição do grau de perigo pelo método 1, de acordo a altura máxima d' água no subsetor, estão apresentadas na Tabela 5.5

Tabela 5.5 –Representação das classes para classificação do perigo: método 1

| Grau | Profundidade máxima de água na área (m) |
|----------------|--|
| 1 (Baixo) | $\leq 0,5$ |
| 2 (Médio) | $0,5 < 1,0$ |
| 3 (Alto) | $1,0 \leq 1,5$ |
| 4 (Muito Alto) | $>1,5$ |

Fonte: GEGEP/UFPE (2016).

5.4.2.2 - Determinação do grau de perigo: Método 2

Para a obtenção do grau de perigo pelo método 2, além da altura máxima de água na área, considera-se a velocidade de subida (elevação) e a sua capacidade de carga / transporte de materiais. Estes dois fatores foram incorporados na metodologia por serem indicativos de potencial destrutivo e importantes na tomada de decisão em evacuar as áreas atingidas, dependendo da magnitude do processo.

Sendo assim, o primeiro nível é determinado através de arranjos que correlacionam a capacidade de carga e velocidade de subida (elevação) da água, conforme o Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Arranjo entre a capacidade de carga e a velocidade de subida d' água

| Capacidade de Carga | Velocidade de Elevação da Água | | |
|---------------------|--------------------------------|-------|-------|
| | Baixa | Média | Alta |
| Baixa | Baixa | Média | Média |
| Média | Média | Média | Alta |
| Alta | Média | Alta | Alta |

Fonte: GEGEP/UFPE (2016).

Para a obtenção do grau de perigo pelo método 2, o resultado do primeiro arranjo é correlacionado com a altura de água máxima alcançada na área / edificações, nos maiores eventos de inundação, conforme Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Matriz de correlação para obtenção do grau de suscetibilidade a inundação.

| Profundidade máxima de água na área (m) | | Capacidade de Carga x Velocidade de Elevação da Água | | |
|---|------------|--|-------|------------|
| | | Baixa | Média | Alta |
| < 0,5 | Baixa | Baixa | Média | Média |
| 0,5 < 1,0 | Média | Média | Média | Alta |
| 1,0 < 1,5 | Alta | Média | Alta | Muito Alta |
| >1,5 | Muito Alta | Alta | Alta | Muito Alta |

Fonte: GEGEP/UFPE (2016).

5.5 - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE RISCO

A matriz de correlação utilizada para a determinação do grau de risco a processos de movimentos de massa (vulnerabilidade vs suscetibilidade) e inundação (vulnerabilidade vs perigo) está apresentado no Quadro 5.5.

O risco é determinado pelo arranjo entre “consequências para as propriedades”, denominada vulnerabilidade, e “evento / probabilidade” que indica a probabilidade de ocorrência de um processo perigoso, chamado de suscetibilidade (para movimentos de massa) e perigo (para inundações).

Quantos aos movimentos de massa, conforme a definição do JTC-1, o perigo inclui, dentre outras informações, o seu período de recorrência, necessitando da existência de bases históricas específicas para a sua obtenção. Portanto, para a determinação do grau de risco a

processos de movimentos de massa junto à vulnerabilidade, usualmente utiliza-se a identificação da suscetibilidade que acaba se tornando de mais fácil obtenção.

Quadro 5.5 – Matriz para análise e determinação do grau de risco conforme o arranjo entre a suscetibilidade/perigo e a vulnerabilidade.

| EVENTO/PROBABILIDADE | CONSEQUÊNCIAS PARA AS PROPRIEDADES | | | |
|-----------------------------|---|-------------|--------------|--------------|
| | Muito Alto | Alto | Médio | Baixo |
| Muito Alto | Muito Alto | Muito Alto | Alto | Alto |
| Alto | Muito Alto | Alto | Alto | Médio |
| Médio | Alto | Alto | Médio | Médio |
| Baixo | Alto | Médio | Médio | Baixo |

Fonte: Adaptado de AGS (2007); Coutinho (2015).

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE MORENO

Este capítulo compreende os aspectos históricos, socioeconômicos e fisiográficos do Município de Moreno, apresentando de forma mais detalhada as características: geológicas, geotécnicas, pedológicas, geomorfológicas, das áreas de estudo

6.1 - História do município

A ocupação do atual município de Moreno provém da faixa de terra comprada, por dois irmãos portugueses de sobrenome Moreno. A intenção era a instalação de um engenho. Um deles morreu antes da concretização deste projeto. O segundo, Baltazar Gonçalves Moreno, faleceu no dia que o engenho entrou em funcionamento. A propriedade foi vendida pelos seus herdeiros a Antônio de Souza Leão. O engenho foi visitado por Dom Pedro II em 18 de dezembro de 1859, quando o proprietário foi agraciado com o título de Barão de Moreno e sua esposa, Maria Amélia de Sousa Leão, com o título de Baronesa.

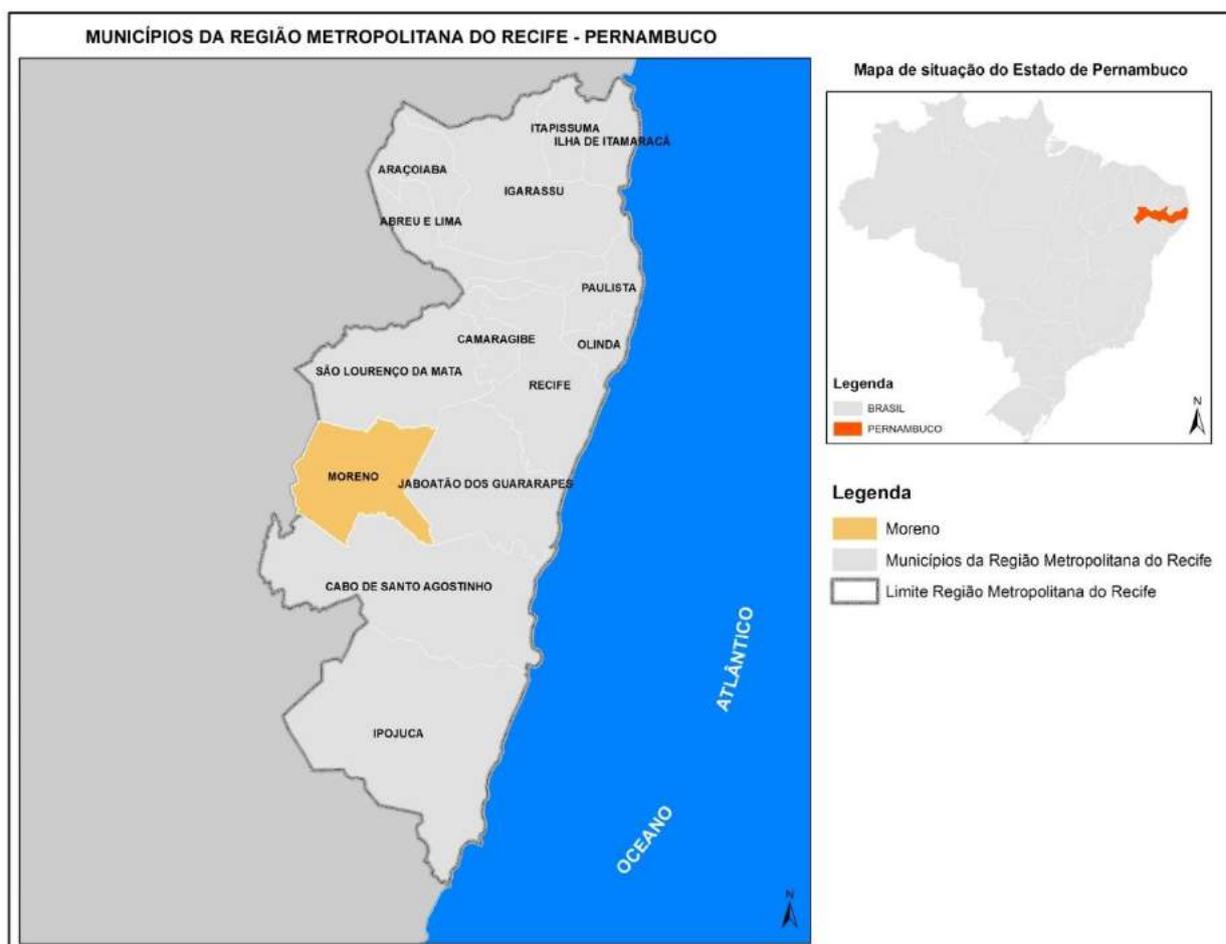
O desenvolvimento do município ganhou impulso com a instalação da indústria têxtil Societé Cotonière Belge Brésilienne, no início do século XX. Se tornou distrito pela lei municipal nº 126, de 8 de março de 1920, subordinado ao município de Jaboatão dos Guararapes. A emancipação veio através da Lei 1.931 de 11 de setembro de 1928. O município foi instalado em 1 de janeiro de 1929 (MORENO, 2015).

6.2 - Localização e aspectos socioeconômicos do município de Moreno

O município de Moreno está localizado na mesorregião Metropolitana e na Microrregião Recife do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com São Lourenço da Mata, a sul com o Cabo de Santo Agostinho, a leste com Jaboatão dos Guararapes e a oeste com Vitória de Santo Antão (Figura 6.1).

A área municipal ocupa 191,3 km², representa 0,19% do Estado de Pernambuco. A sede do município localiza-se a uma latitude 08°07'07" sul e a uma longitude 35°05'32" oeste, estando a uma altitude de 96 metros. Distanto 30,6 km da capital, cujo acesso é feito pelas rodovias pavimentadas BR232 e PE007. Em divisão territorial datada de 2005, o município é constituído dos distritos de Moreno e Bonança.

Figura 6.1 - Localização do Município de Moreno.



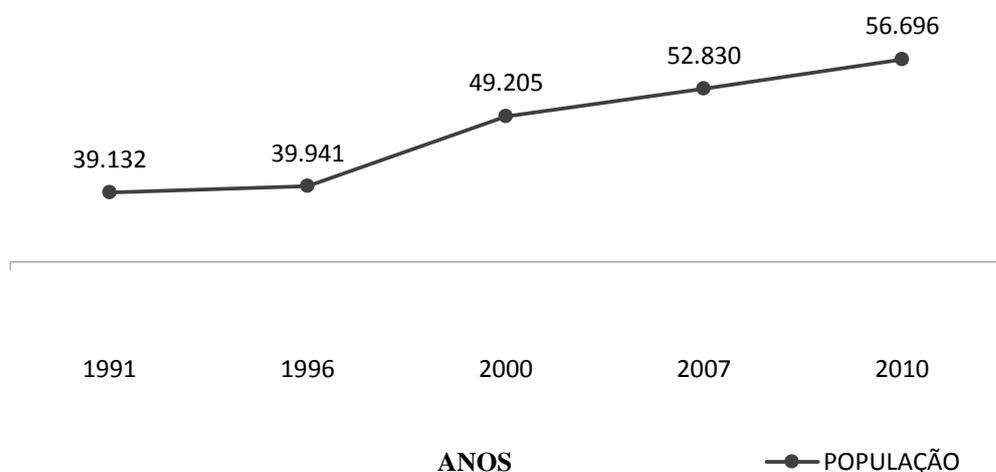
Fonte: GEGEP/UFPE (2014).

Baseado no Censo Demográfico do IBGE de 2010 a população do município correspondia a 56.696 habitantes, com uma densidade demográfica de 289,16 hab/km². Do total, cerca de 27.664 (48,79%) eram homens e 29.032 (51,21%) eram mulheres. A população se concentra de forma significativa na área urbana, em 2010 cerca de 50.197 habitantes (representando 88,53% da população total), enquanto que na zona rural viviam cerca de 6.449 habitantes (representando 11,37% da população total). O número de habitantes do município vem crescendo de forma acentuada ao longo dos anos, entre 1991 e 2010 a população aumentou em 30,97% (Figura 6.2). No ano de 2015 a população estimada era de cerca de 61.016 habitantes (IBGE, 2015).

A rede de saúde é composta por 18 estabelecimentos, sendo 16 ambulatórios e 02 hospitais. O IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – de Moreno vem apresentando

aumento com o passar dos anos. No ano de 2000 o IDHM correspondia a 0,511, já no ano de 2010 este valor subiu para 0,652 (BDE, 2015).

Figura 6.2 – População anual do município de Moreno entre 1991 e 2010.



Fonte: IBGE: Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010.

As principais atividades econômicas do município são o comércio e a prestação de serviços. A agropecuária tem destaques para as culturas de cana de açúcar, coco, banana, inhame, maracujá e acerola. No ano de 2012 o PIB do município de Moreno era em torno dos 386.321 mil, distribuído percentualmente em três setores, o agropecuário (4,38%), o industrial (22,42%) e o dos serviços (73,20%), sendo que desses 73,20% dos serviços, 43,67% corresponde à Administração Pública (BDE, 2015).

De acordo com a BDE (2015) em relação à educação, no ano de 2013 o município possuía 67 estabelecimentos escolares entre públicos e privados. Sobre o analfabetismo, no ano de 2000 a população de 10 anos ou mais de idade analfabeta era de 21,46% para o ano de 2010 essa porcentagem caiu para 15,73% demonstrando uma melhora em relação a este indicador no município.

6.3 - Características físicas do município

6.3.1 - Aspectos Climáticos

O município de Moreno apresenta uma precipitação média anual de 1309,9 mm e uma temperatura média de 26°C. Com relação à distribuição temporal da precipitação o período chuvoso concentra-se nos meses de outono/inverno. A respeito da temperatura é possível observar uma variação nas temperaturas mínimas e máximas em torno de 18°C e 32°C, respectivamente (CPRM, 1996). Segundo a classificação climática de Köppen o município de possui o clima do tipo As', clima tropical (A) e chuvas de outono/inverno (s'). A Tabela 6.1 apresenta as médias históricas mensais de precipitação entre os anos de 1980 a 2014.

Tabela 6.1 - Médias históricas mensais de precipitação em Moreno entre 1980 a 2014.

| Média Histórica | JAN | FEV | MAR | ABR | MAIO | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | TOTAL |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Precipitação (mm) | 75 | 93 | 143 | 174 | 205 | 255 | 231 | 142 | 79 | 39 | 37 | 44 | 1517 |

Fonte: Climatempo (2015).

6.3.2 - Unidades Geoambientais

Segundo Silva *et al.* (2001) o relevo de Moreno faz parte da Unidade das Superfícies Retrabalhadas que é formada por áreas que têm sofrido retrabalhamento intenso, com relevo bastante dissecado e vales profundos que antecedem a Chapada da Borborema (Figura 6.3). No município encontram-se as:

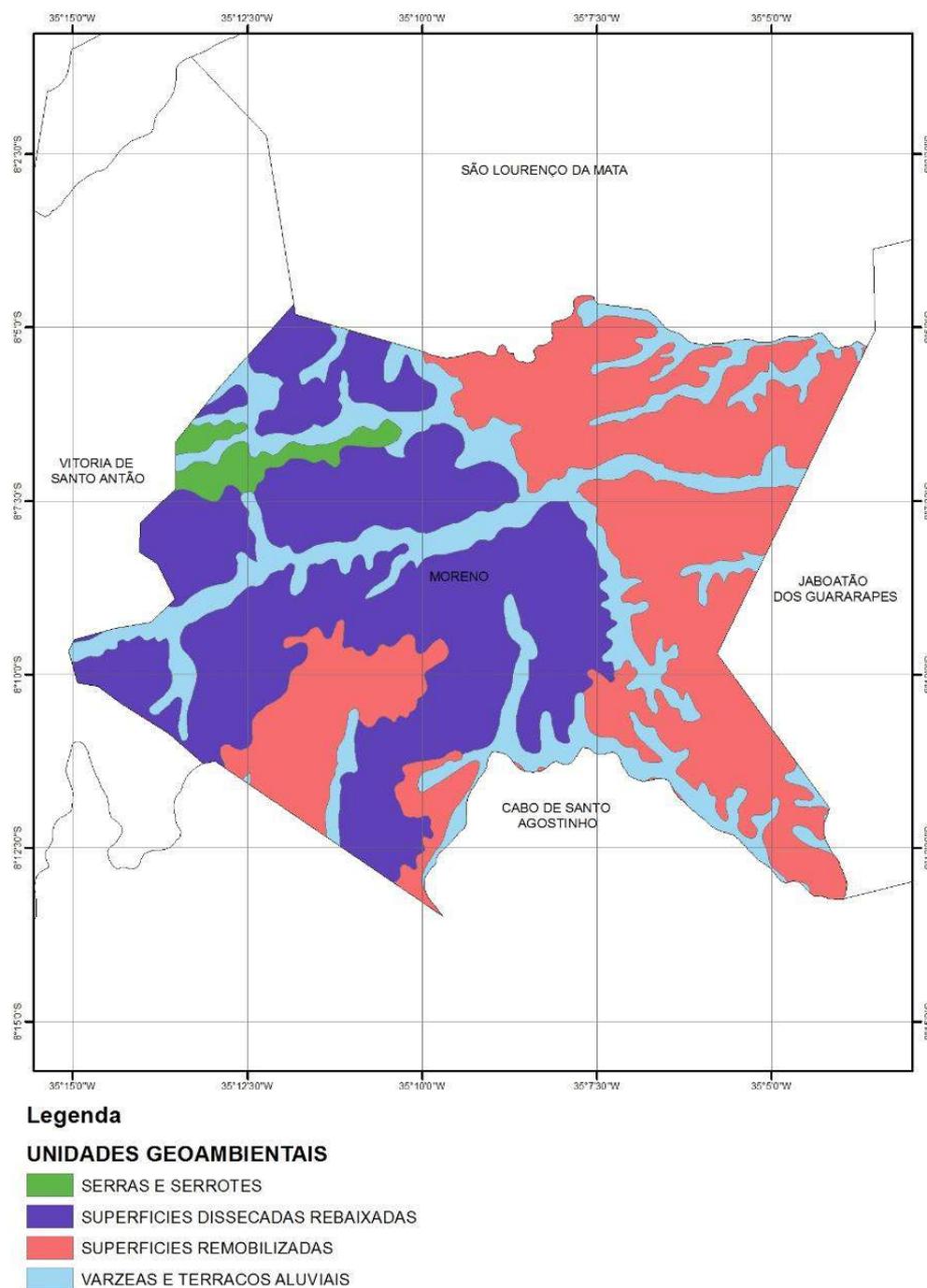
Superfícies Dissecadas Rebaixadas: Representadas por superfícies aplainadas que antecedem as cotas mais baixas da Depressão Pré-Litorânea e do Planalto Rebaixado Litorâneo ocupadas pelas várzeas e terraços aluviais.

Superfícies Remobilizadas: Apresenta relevo bastante dissecado. Limita-se em toda a sua extensão leste com as Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praias das Planícies Litorâneas. Ao norte limita-se com os Tabuleiros Costeiros e Depressão Pré-litorânea, e a oeste, o limite com as encostas orientais do Planalto da Borborema é marcado por uma acentuada diferenciação altimétrica.

Várzeas e Terraços Aluviais: Os vales dos rios constituem planícies aluviais descontínuas embutidas em colinas.

Serras e Serrotes: Corresponde às elevações íngremes em formas de serras, comumente apresentando Afloramentos de Rocha. Também abrange outras elevações residuais com menor altitude e praticamente desprovidas de Afloramentos de Rocha.

Figura 6.3 – Unidades Geoambientais do município de Moreno.



Fonte: Silva, et al., 2001.

6.3.3 - Hidrografia

Águas superficiais

O município de Moreno encontra-se inserido nos domínios do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos (Figura 6.4), apresenta uma área de 1.264,94 km², totalmente inserida no Estado de Pernambuco e correspondendo a um percentual de 1,29%. Os principais tributários

Francisco e do Complexo Salgadinho e o subdomínio rochas ígneas da Suite calcialcalina Itaporanga e dos Granitóides (CPRM, 2005).

6.3.4 - Solos

As principais classes de solos do município de Moreno (Figura 6.5) são representadas pelos Latossolos nos topos planos, sendo profundos e bem drenados; pelos Argissolos nas vertentes íngremes, sendo pouco a medianamente profundos e bem drenados e pelos Gleissolos de Várzea nos fundos de vales estreitos, com solos orgânicos e encharcados (CPRM, 2005). De maneira mais detalhada, segundo Silva et al. (2001) as classes de solos encontradas no município são:

Gleissolos: Distribuem-se nos ambientes de várzeas mal drenadas predominantes na zona úmida costeira. É solo com médio a alto potencial agrícola, mas apresentam restrições de drenagem e riscos de inundações. Possuem características que resultam da influência do excesso de umidade permanente ou temporário, devido ao lençol freático elevado ou mesmo à superfície, durante um determinado período do ano. São solos que apresentam um horizonte subsuperficial de coloração acinzentada ou cinzenta (horizonte glei), comumente com mosqueados de cores amareladas ou avermelhadas oriundas da oxidação do ferro em algumas partes da matriz do solo.

Latossolo amarelo: Compreende solos que apresentam as características gerais dos Latossolos, mas que são individualizados, em nível hierárquico imediatamente abaixo, fundamentalmente por critério de cor. Possuem horizonte B latossólico (Bw) de coloração amarelada, fração argila, essencialmente, caulínítica, e na grande maioria dos casos baixos teores de óxidos de ferro ($< 80\text{g.kg}^{-1}$ de solo). A coloração amarelada, decorrente da presença da goethita, tem matiz variando na faixa de 10 YR a 7,5 YR com cromas maiores ou iguais a 4 e com valores, geralmente, maiores ou iguais a 5. Geralmente são solos bem a fortemente drenados, muito profundos, com sequência de horizontes A, Bw e C, normalmente pouco diferenciados. Devido serem solos bastante intemperizados, apresentam baixo conteúdo de bases trocáveis, sobretudo nas regiões quentes e úmidas, onde as perdas de bases são mais intensas. A reação de pH varia, geralmente, na faixa de forte a moderadamente ácida.

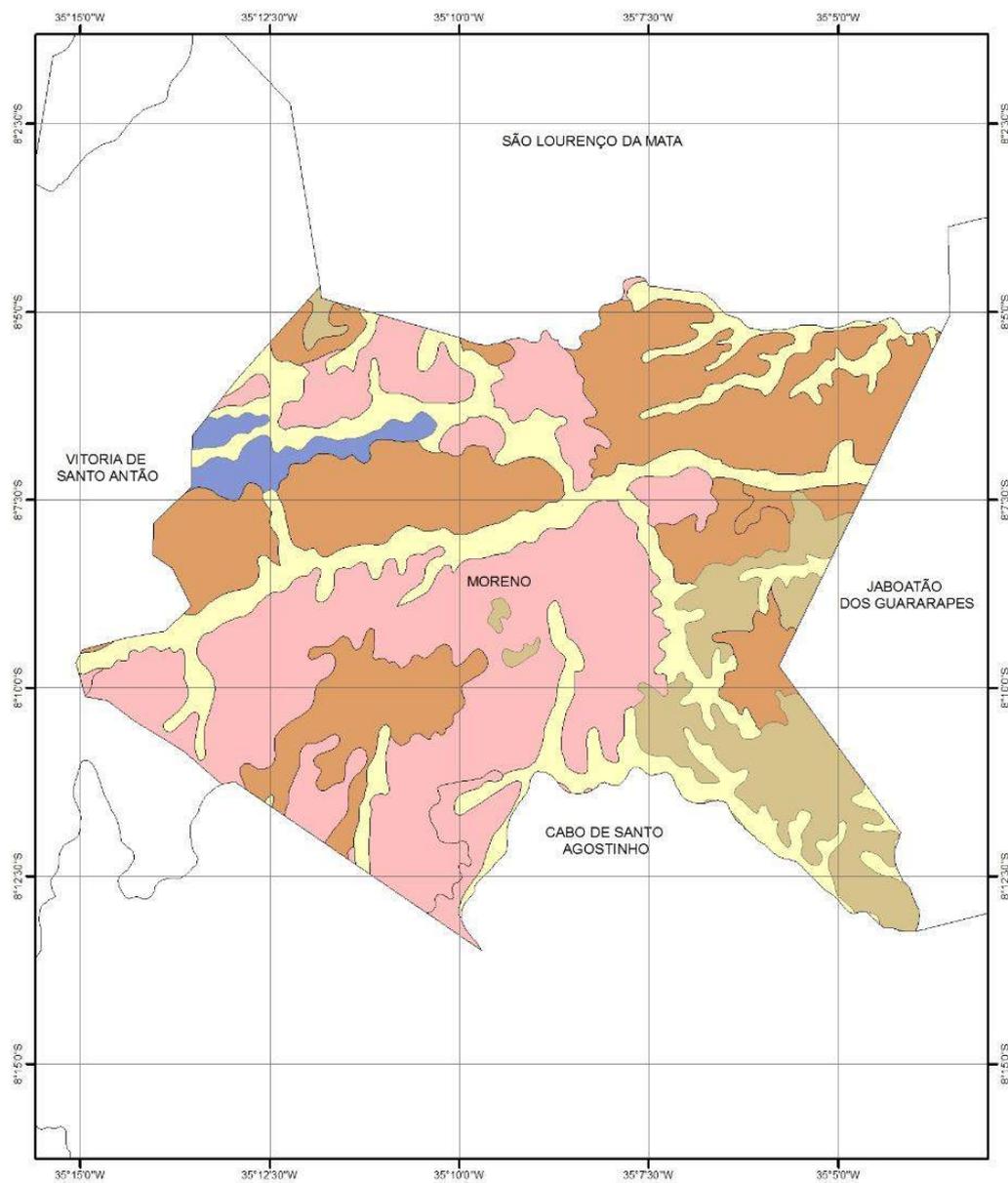
Argissolo Vermelho: Esta classe é composta por uma grande variedade de solos minerais, não hidromórficos, com uma significativa diferença de textura entre o horizonte superficial A e o de subsuperfície B textural (Bt) que geralmente ocorre bem diferenciado no perfil do solo. Os solos desta classe podem ser muito profundos a rasos, forte a imperfeitamente drenados, com

textura variando de arenosa a argilosa em superfície e de média a muito argilosa em subsuperfície, contendo em sua maioria, argila de atividade baixa. Podem apresentar saturação por bases de baixa a alta, além do mais, podem ocorrer com e sem pedregosidade e em diversos relevos, desde o plano ao montanhoso. Apresentam horizonte B textural (Bt), isto é, de acúmulo de argila, com cores na faixa do vermelho-amarelado, podendo conter também partes vermelhas e, ou, bruno forte, devido à presença da mistura de óxidos de ferro (hematita mais goethita) cujos teores variam, em geral, na faixa de 10 a 80 g.kg⁻¹ de solo. Nestes solos os teores de hematita, em geral são superiores aos encontrados nos Argissolos Amarelos.

Argissolo Amarelo: Esta classe é composta por uma grande variedade de solos minerais, não hidromórficos, com uma significativa diferença de textura entre o horizonte superficial A e o de subsuperfície B textural (Bt) que geralmente ocorre bem diferenciado no perfil do solo. Os solos desta classe podem ser muito profundos a rasos, forte a imperfeitamente drenados, com textura variando de arenosa a argilosa em superfície e de média a muito argilosa em subsuperfície, contendo em sua maioria, argila de atividade baixa. Apresentam cores vivas, amareladas. Estas cores resultam, possivelmente, de um maior teor de hematita sobre a goethita, bem como da presença de anfibólio, ilmenita, aderências argilo-ferruginosas e nódulos escuros manganosos na fração areia.

Neossolos: Constituídos por solos com textura arenosa ou média com baixos teores de argila, normalmente entre 5 e 12%, sendo pequena a variação do conteúdo de argila ao longo do perfil. Quando arenosos, eles apresentam a classe textural areia franca como dominante. Os Neossolos ocorrem em paisagens com relevo predominantemente suave ondulado e, ou, plano. Quase sempre, são fortemente drenados; raramente apresentam fase de pedregosidade; e, em alguns casos, ocorrem com fase rochosa. As cores, na sua grande totalidade, são claras, ou acinzentadas, especialmente quando observadas com o solo no estado seco, predominantemente no matiz 10YR. Grãos simples e estruturas em blocos subangulares muito pequenos e pequenos com aspecto maciço, pouco coeso “in situ”, são os aspectos estruturais representativos destes solos. Os horizontes que apresentam fragipãs bem desenvolvidos normalmente possuem estrutura maciça.

Figura 6.5 – Classes de solos do município de Moreno.

**Legenda****CLASSES DE SOLOS**

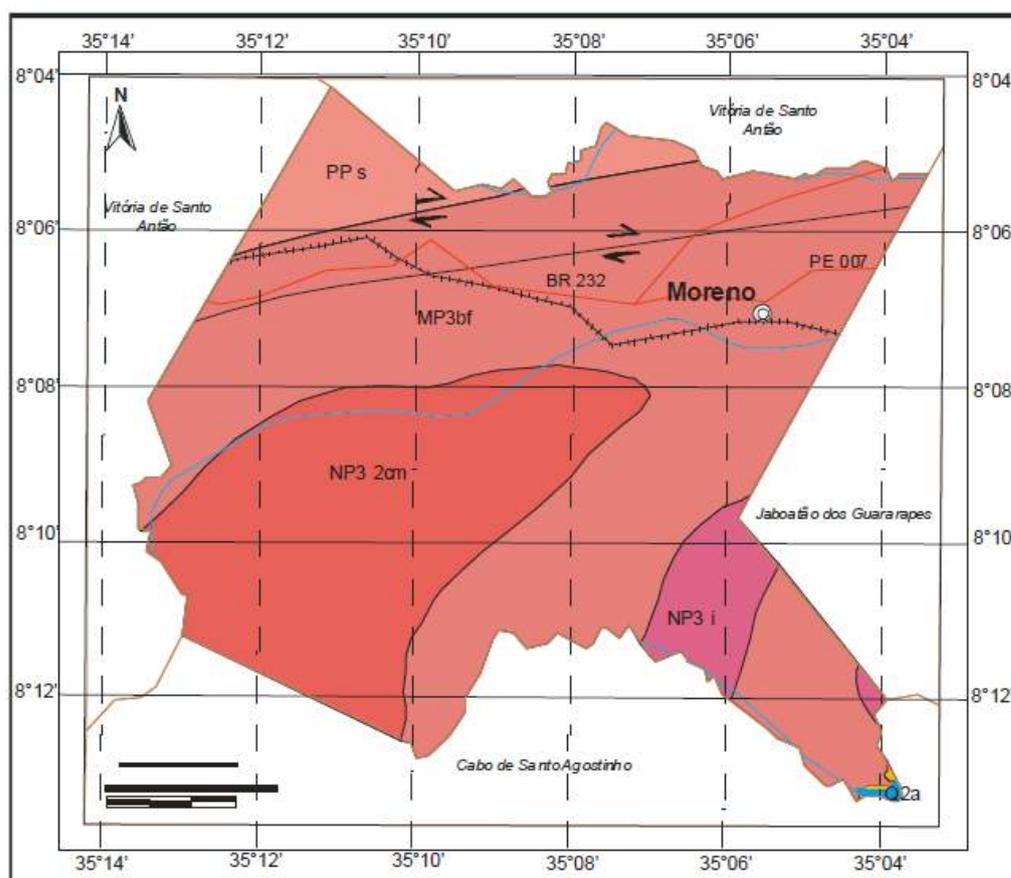
- LATOSSOLOS AMARELOS
- ARGISSOLOS AMARELOS
- ARGISSOLOS VERMELHOS
- NEOSSOLOS
- GLEISSOLOS

Fonte: Silva, et al., 2001.

6.3.5 - Geologia

O município de Moreno encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos do complexo Salgadinho e Belém do São Francisco, dos Granitóides Indiscriminados, da Suíte Calcicalcina de Médio a Alto Potássio Itaporanga e dos Depósitos Aluvionares (CPRM, 2005).

Figura 6.6 – Formação geológica do município de Moreno.



UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Cenozóico

Q2a Depósitos aluvionares (a): areia, cascalho e níveis de argila.

Neoproterozóico

NP3 2cm Suíte calcicalcina de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfírico associado a diorito (588 Ma U-Pb)

NP3 i Granitóides indiscriminados: granito, granodiorito, monzogranito

Mesoproterozóico

MP3bf Complexo de Belém do São Francisco: leucocratoonítico-tonalítico-granodiorítico migmatizado, enclaves de supracrustais (1070 Ma Rb-Sr)

Paleoproterozóico

PP s Complexo Salgadinho: ortognaisse tonalítico a granítico

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

— Contato geológico
 Falha ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

Sede Municipal
 Rodovias
 Linhas férreas
 Limites Intermunicipais
 Rios e riachos
 Açude/barragem

Fonte: CPRM (2005).

De acordo com Mendes et al. (2009) o Complexo Belém do São Francisco compõe-se de ortognaisses granítico a tonalítico-granodiorítico, eventualmente migmatizado, com enclaves máficos de composição quartzo-diorítica e enclaves de rochas supracrustais. Idade U-PB em SHRIMP obtida em amostra coletada próximo à cidade de Floresta-PE, aponta valor de 2.079Ma, o qual permite deduzir uma idade Paleoproterozóica para a mesma. Idades isocrônicas em Rb-Sr desta unidade apontam valores no intervalo de 1,07 a 1,09 G.a. sugerindo um possível rejuvenescimento isotópico ocorrido durante o Neoproterozóico.

O complexo Salgadinho está localizado na parte central da Folha Santa Cruz do Capibaribe (SB.24-Z-D-VI) nos estados da Paraíba e Pernambuco inseridas no contexto geodinâmico na porção leste da do Domínio da Zona Transversal, situado entre as zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco, Província Borborema, Nordeste do Brasil. Ortognaisses presentes na área são bastante semelhantes na petrográfica, texturalmente e quimicamente com gnaisses de idade paleoproterozóica presentes no embasamento do domínio central da Província Borborema (NEVES *et al.*, 2006). O Complexo Salgadinho é composto por hornblenda-biotita ortognaisses migmatíticos de composição sienogranítica a granodiorítica e alguns termos tonalíticos, com textura equigranular, granulação média a grossa e coloração variando de cinza esbranquiçada a rósea (BRASILINO, 2011).

6.3.6 - Vegetação

Moreno encontrasse inserido na Região Metropolitana do Recife (RMR) que predominantemente era coberta de Mata Atlântica, historicamente foi sendo devastada e atualmente o que resta é pouco dessa vegetação nativa, segundo Guimarães et al (2012) a RMR possui 2.768,95 km² de área; deste total, apenas 8% é representada por uma cobertura vegetal de remanescente de Mata Atlântica, ou seja, 222,96 km².

Apesar deste quadro o município de Moreno apresenta uma grande quantidade de áreas verdes, contendo quatro unidades de conservação, sendo elas: Reserva Ecológica Mata do Sistema Gurjaú, de domínio público estadual, sendo o sistema protegido Mata Atlântica com uma área de 175,19 ha. Fazenda Santa Beatriz do Carnijó (Figura 6.7), de domínio público estadual, sendo o sistema protegido Mata Atlântica, com área correspondente a 18 ha. Reserva Ecológica Mata de Caraúna, domínio privado, onde o sistema preservado é Mata Atlântica, com uma área de 169,32 ha. Reserva Ecológica Mata do Eng. Moreninho domínio privado, onde o sistema preservado é Mata Atlântica, com uma área de 66,48 ha (BDE, 2015). Cabe observar que essas áreas estão ao redor da cidade, pois a área urbana em si, foi bastante desmatada.

Figura 6.7– Fazenda Santa Beatriz do Carnijó situada no município de Moreno.

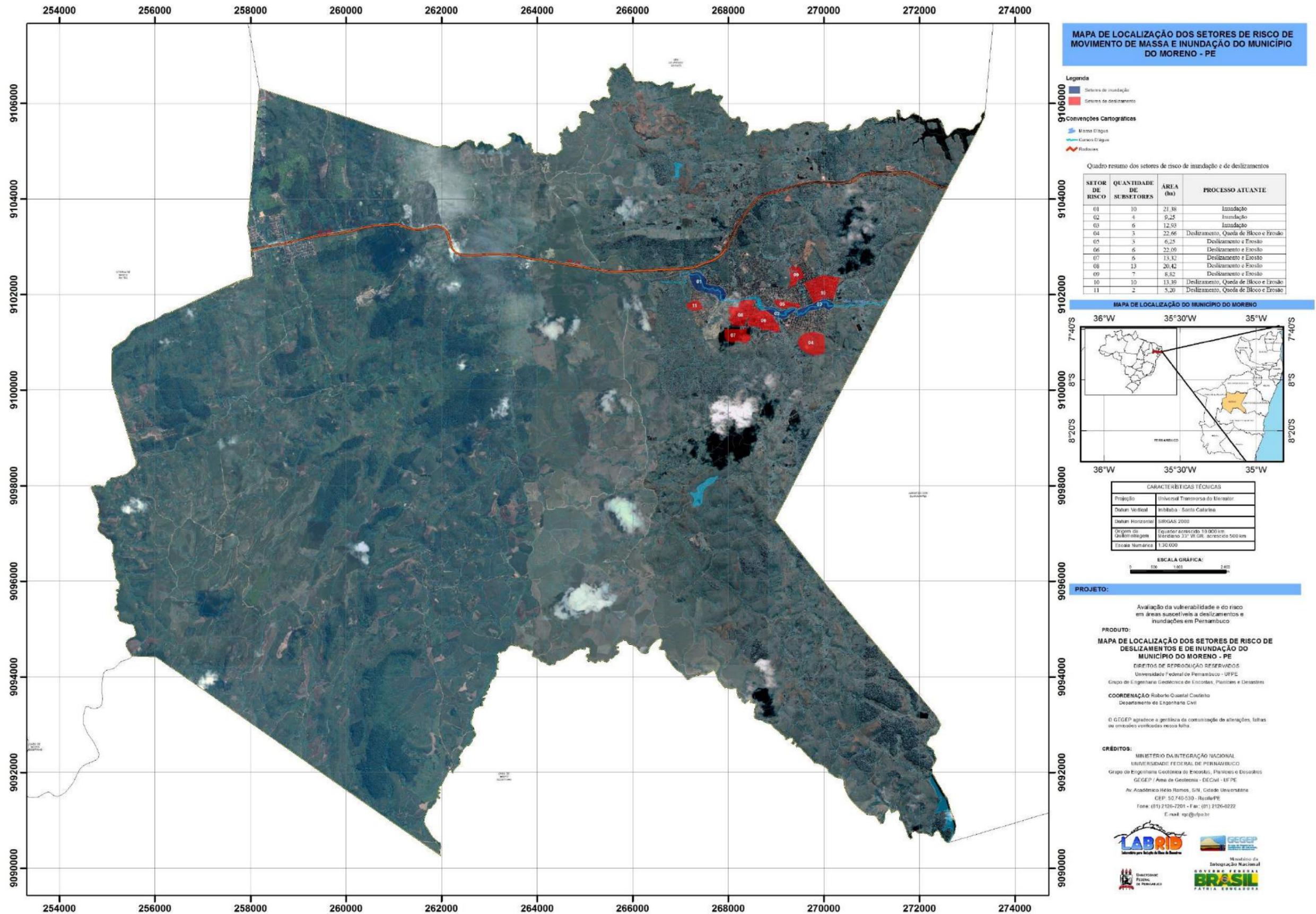


Fonte: Google Earth, adaptado pela autora.

6.4 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foram analisados 11 setores de risco que se encontram distribuídos na zona urbana do município de Moreno (Figura 6.8). As áreas de estudo apresentam níveis diferentes de ocupação, contendo assentamentos antigos e consolidados, a aglomerados precários e densamente povoados, bem como, áreas recentes em plena expansão de ocupação. A região central da cidade conta com infraestrutura básica, tais como escola, posto de saúde, hospital, coleta de lixo diária e ruas calçadas, à medida que se distancia do centro, essa infraestrutura se torna deficiente nas porções mais periféricas. Em dados coletados nos arquivos de ocorrências da Defesa Civil do município entre 2014 e 2016, foram contabilizados 11 deslizamentos de terra significativos, 3 enchentes e 1 inundação. Dentro desse cenário 100% dos deslizamentos registrados foram em bairros compreendidos nas áreas estudadas, afetando cerca de 26 famílias. Da mesma forma, 100% dos processos de inundação e enchentes que foram notificados ocorreram dentro dos setores estudados e atingiram 170 famílias.

Conforme descrito na metodologia, para determinação do grau de risco, os 11 setores foram divididos em 70 subsetores. Essa subdivisão da área permitiu uma melhor avaliação dos fatores de suscetibilidade, o detalhe obtido neste trabalho, permitiu uma maior precisão da determinação do grau de risco.



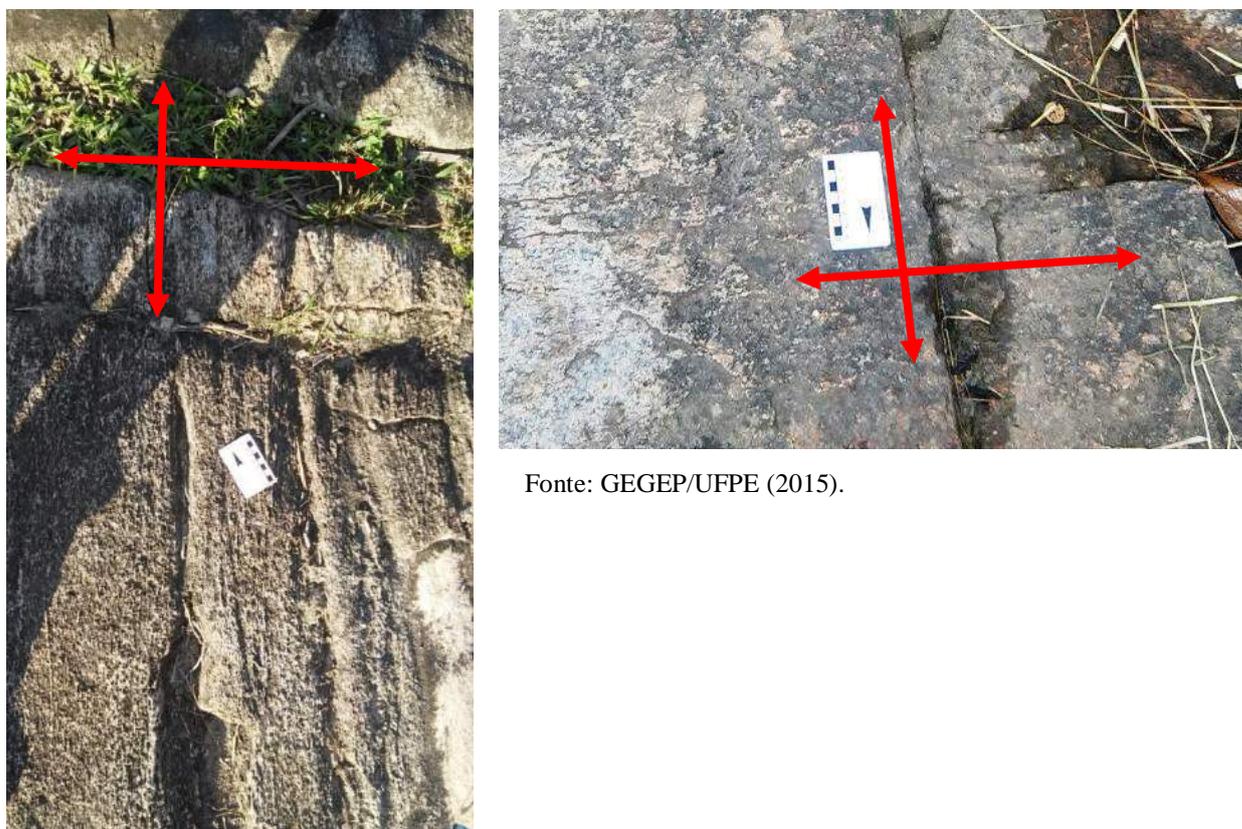
Fonte: Coutinho (2015).

A seguir serão apresentados os detalhamentos dos levantamentos realizados nos setores, relacionados a especificações geológicas, pedológicas, geomorfológicas e geotécnicas.

6.4.1 - Caracterização geológica

Dentro de um contexto mais local, a partir das visitas de campo com a presença de especialistas na equipe foi realizado o levantamento geológico dos setores. Refletindo a dinâmica geológica e geomorfológica da área em estudo, o relevo do núcleo urbano é praticamente formado por colinas e morros de gnaisses e mantos intempéricos. O embasamento cristalino aflora em todas as áreas que foram visitadas no campo. As visitas foram feitas em locais de cotas diferentes, mesmo assim, sempre em contato com afloramentos de gnaisse. O Embasamento Cristalino é composto de rochas do tipo Gnáissico-Migmatítico (ortognaisses de composição granítica e diorítica, migmatizadas). Tendo como protólito Rochas Plutônicas Graníticas e Dioríticas que sofreram metamorfismo, haja vista vestígios de possíveis esforços compressoriais em duas direções, 30° com cada uma das direções preferências de fraturas encontradas nas rochas. Por vezes podemos verificar nos distintos afloramentos, rochas fraturadas (Figura 6.9) com duas aproximadas direções preferenciais ($92^\circ/05^\circ$ S e $05^\circ/07^\circ$ W). Não foi percebido nas fraturas nos distintos afloramentos: “rejeito de falhas” nem tão pouco “estrias de atrito”.

Figura 6.9 – Exemplo de rochas fraturadas encontradas nos setores de risco.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Pressões orientadas fazem com que minerais se disponham em camadas mais ou menos paralelas, as micas dispostas em lâminas alongadas segundo uma determinada direção (lineação), já os feldspatos encontram-se partidos e os quartzos distendidos (Figura 6.10).

Figura 6.10 – Disposição dos minerais que compõem a rocha.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Percebe-se que em alguns afloramentos há presença de veios de quartzo, demonstrando assim, que a continuação de esforços compressoriais atuantes na região, fez fluidos e voláteis escaparem e carrearem sílica para as fendas e veios.

Figura 6.11 – Afloramento com presença de veios de quartzo.



Pode se verificar o modelamento das bordas das rochas dos afloramentos visitados e morros visitados, provocados pela ação intempérica sobre as rochas do Embasamento Cristalino, caracterizando assim a aparência de relevo movimentado, dessa porção da área em estudo.

Figura 6.12 – Exemplo de modelamento das bordas das rochas.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

É possível perceber a presença de uma camada de manto de alteração (regolito - argiloarenoso), onde a cota de altitude varia de cerca de (70) metros a pouco mais de (115) metros nas partes mais altas dos morros.

Verificou-se ainda que alguns afloramentos visitados apresentavam rochas soltas (pedaços de gnaisses rolados e ou recém-fraturados) e matacões em encostas. (É caracterizada como área propícia à queda de blocos).

Figura 6.13 - Presença de rochas soltas nos setores estudados.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Nos rios e riachos que cortam a cidade percebe-se que a maioria das direções preferenciais por onde as águas escorrem, coincidem com as duas direções preferenciais de fratura da rocha aproximadamente (NS e/ou LW) decorrente da facilidade de erosão da rocha no comprimento de possíveis falhas preexistentes (Figura 6.14).

Figura 6.14 – Direções preferenciais das águas coincide com as direções preferenciais de fratura da rocha.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Neste afloramento é possível perceber gnaiss migmatizado com presença de duas partes distintas e alternadas, uma clara (rica em quartzo e feldspato) e outra mais escura (rica em biotita, talvez piroxênio, talvez hornblenda). Os migmatitos são encontrados em terrenos metamórficos regionais desenvolvidos a um grau elevado o bastante para iniciar uma fusão parcial – Anatexia.

Figura 6.15 – Exemplo de gnaiss migmatizado.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

6.4.2 - Caracterização Geomorfológica

A geomorfologia dos setores varia bastante desde planícies de inundação a colinas com encostas íngremes, a baixo segue uma descrição do levantamento feito em cada um dos 11 setores (Quadro 6.1).

Quadro 6.1 – Descrição geomorfológica dos setores de risco do município.

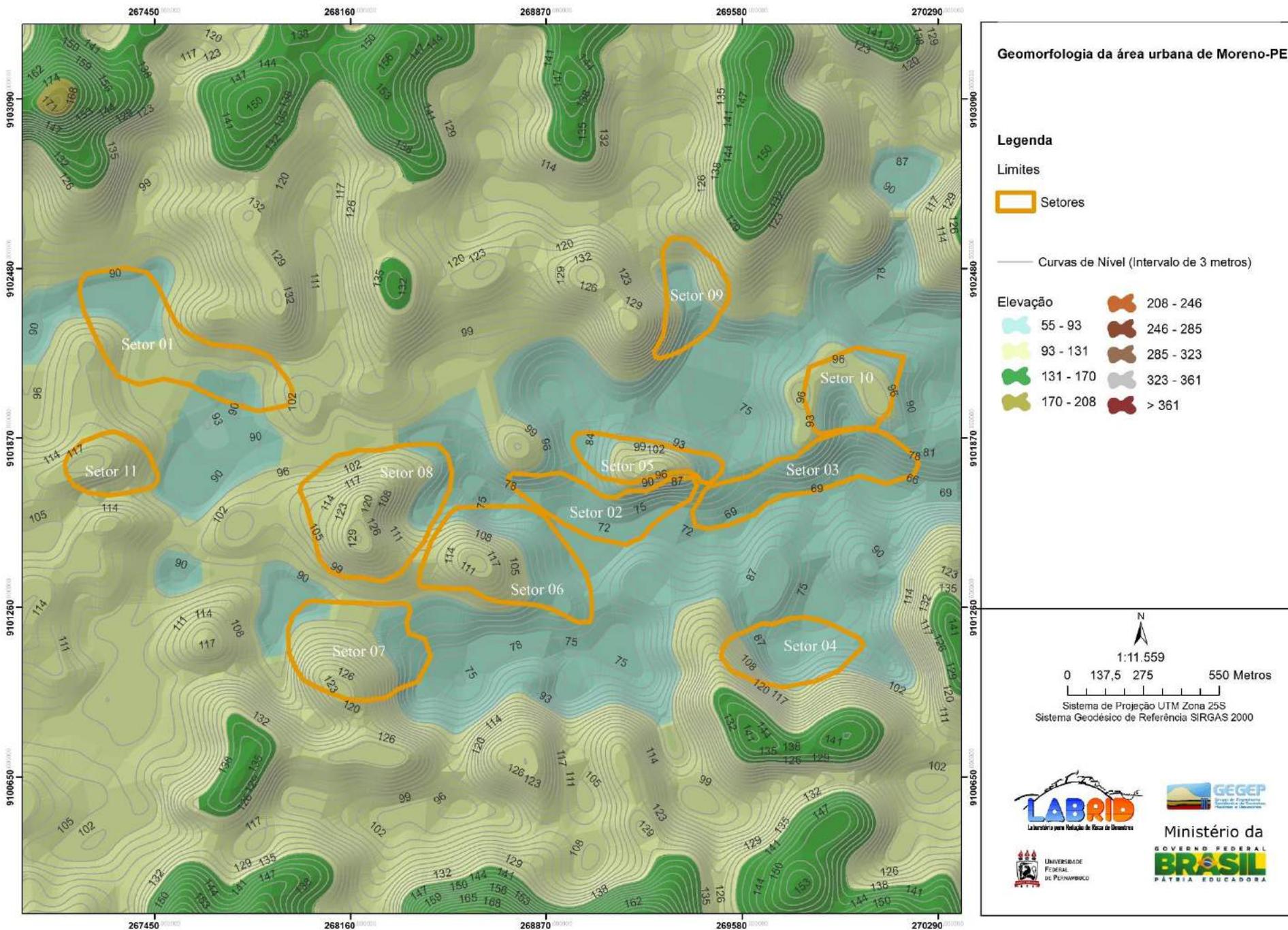
| Setor | Descrição Geomorfológica |
|--------------|---|
| 1, 2, 3 | Estes setores se caracterizam como planícies e terraços de inundação, com dimensões interfluviais muito pequenas (< 250 m). O traçado do canal é retilíneo e em alguns pontos meandrante, o aspecto das margens é suave, o fundo do leito é de aluvião e em alguns locais rochoso. |
| 4 | A forma do relevo é de colina dissecada com topo retilíneo tabular, o grau de entalhamento do vale é fraco (20 a 40 m), além de o setor ser dividido por um interflúvio. Em relação à forma da vertente é côncava/convergente em uma face e convexa/divergente em outra. |
| 5 | Colina dissecada com topo arredondado aguçado, com grau de entalhamento forte (80 a 160 m), e formas das vertentes consideradas como côncavas/convergente e convexas/divergentes. |
| 6 | Trata-se de uma colina dissecada de topo convexo arredondado, com grau de entalhamento do vale médio (40 a 80 m), apresenta forma de vertente de dois tipos: Côncava/convergente e convexa/divergente. Dentro deste mesmo setor foi identificado um canal fluvial com a forma do vale classificada como fundo chato, com dimensão interfluvial muito pequena (< 250 m), canal retilíneo com margens suaves. |
| 7 | Apresenta colina dissecada de topo arredondado aguçado e com grau de entalhamento forte (80 a 160 m), com padrão de vertente convexa/divergente, do qual dispersa o fluxo. As colinas formam um vale com perfil em U cortado por um córrego de traçado retilíneo e fundo do leito de aluvião. |

| Setor | Descrição Geomorfológica |
|--------------|--|
| 8 | O setor é composto por colina com topo retilíneo e interflúvio de aproximadamente 500 m, com grau de entalhamento muito forte (>160 m), evidenciando formas da vertente côncava/convergente e convexas/convergentes, além de formar um vale com perfil em U. |
| 9 | Colinas com encostas íngremes, de grau de entalhamento muito forte (>160 m) e formas de vertentes côncava/convergente e côncava/divergente. Formando um vale fluvial com perfil de fundo chato, de dimensão interfluvial muito pequena (< 250 m) e traçado retilíneo com formas associadas à cascata e leito rochoso com marmita de dissolução. |
| 10 | Colinas muito dissecadas com topo arredondado aguçado, em padrão de anfiteatro, com grau de entalhamento médio (40 a 80 m) e formas de vertentes côncavas/convergente e convexa divergente. O setor apresenta vale fluvial com perfil em forma de V, dimensão interfluvial muito pequena (< 250 m), traçado retilíneo, com aspecto das margens íngremes, além de apresentar formas associadas à cascata e leito rochoso com marmita de dissolução. |
| 11 | Vale com perfil em V, dimensão interfluvial muito pequena (< 250 m), com margens íngremes e fundo do leito de aluvião. Colinas dissecadas com topo aguçado e grau de entalhamento fraco (20 a 40 m) o padrão das vertentes são convexo-convergentes. |

Fonte: A autora.

Os setores 1, 2 e 3 foram caracterizados juntos, pois margeiam o rio principal que corta a cidade, sendo observado em campo que as características geomorfológicas não se modificam ao longo da extensão destes setores, principalmente pela proximidade entre eles. A Figura 6.16 apresenta os setores de risco e a geomorfologia de cada área com cotas de nível a intervalo de 3 metros.

Figura 6.16 -Geomorfologia dos setores de risco.



6.4.3 - Caracterização Pedológica

O reconhecimento morfológico dos solos em campo seguiu os parâmetros preconizados pelo Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al, 2005). Para este trabalho foram observados ainda, os perfis em cortes dentro da área urbana, mesmo sem possuírem os horizontes superficiais, para verificar se a continuidade do material era idêntica ao das áreas mais preservadas. Consideraram-se os procedimentos normativos de levantamentos pedológicos para delimitação das unidades de mapeamento de solos (EMBRAPA, 1995). A classificação taxonômica dos solos foi realizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) e para este trabalho considerou-se apenas o primeiro nível categórico.

Para a caracterização dos perfis em campo, especialistas em pedologia de forma tátil, visual realizaram a descrição da textura dos solos ao longo dos horizontes identificados. Para o reconhecimento optou-se pelas áreas as mais preservadas possível dentro de setores da pesquisa.

Nas áreas estudadas foram encontradas basicamente quatro classes de solos, que serão apresentadas a seguir.

Neossolo flúvico

Segundo Silva et al. (2001) no geral estes solos ocorrem nos ambientes de várzeas, planícies fluviais e terraços aluvionares, ao longo das linhas de drenagens das principais bacias hidrográficas, sob vegetação natural de campos higrófilos de várzea ou floresta perenifólia de várzea. Quase sempre, são fortemente drenados; raramente apresentam fase de pedregosidade; e, em alguns casos, ocorrem com fase rochosa. As cores, na sua grande totalidade, são claras, ou acinzentadas, especialmente quando observadas com o solo no estado seco.

Esse tipo de solo foi identificado nos setores 1, 2 e 3, caracterizados anteriormente como planícies e terraços de inundação, e estão inseridos nas áreas próximas ao rio Jaboatão, o principal rio que cruza a cidade. No local onde foi aberto o perfil em campo, o lençol já aflorava a partir dos 25 cm de profundidade (Figura 6.17).

Figura 6.17 – Neossolo Flúvico identificado nos setores 1,2 e 3.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Argissolo Amarelo

Os perfis estudados nos setores 4,5, 9 e 10 apresentam este tipo de solo. De uma maneira geral, os Argissolos Amarelos ocupam os ambientes de Tabuleiros Costeiros, mas também ocorrem nas superfícies movimentadas da faixa que antecede o Planalto da Borborema. São solos que apresentam como característica principal um horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), tipicamente de coloração amarelada (Silva et al., 2001).

Em todos os perfis a textura variou de franco arenoso nos horizontes mais superficiais a franco argilo-arenoso no subjacente, seguidos de um horizonte argila e por fim muito argiloso nos horizontes mais profundos. No setor 9, no perfil aberto foi possível identificar acima do horizonte superficial a presença de um material lançado/carreado proveniente de aterro ou deslizamento com cerca de 20 cm de espessura. No setor 10 na profundidade de 2m a 2,80m foi possível visualizar material oriundo de rocha semi-intemperizada. As figuras 6.18, 6.19 e 6.20 exibem respectivamente os perfis abertos nos setores 4, 9 e 10.

Figuras 6.18, 6.19 e 6.20 – Perfis de Argissolo Amarelo identificados nos setores estudados.



Argissolo Vermelho-Amarelo

Os setores 6 e 8 apresentam esta classe solo. Demonstrando texturas que variaram do franco arenoso a muito argilosa com destaque para o horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita.

No setor 6 foi possível localizar um corte de aproximadamente 6 metros de altura que auxiliou na visualização de um perfil mais completo (Figura 6.21 e 6.22), entre a profundidade de 4 a 6 metros foi possível enxergar traços de rocha semi-intemperizada evidenciando que nas camadas mais profundas o perfil está se aproximando do seu material de origem. De acordo com Silva et al. (2001) esse tipo de solo ocorre em maior proporção nos ambientes relacionados às rochas cristalinas das superfícies que antecedem o Planalto da Borborema.

Figura 6.21 e 6.22 – Argissolo Vermelho-Amarelo identificado nos setores de risco.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Latossolo Amarelo

Essa classe de solo foi observada nos setores 7 e 11, nos horizontes superficiais a textura encontrada foi arenosa, nos subjacentes, argilo silte arenosa e os seguintes e mais profundos, argilosa (Figura 6.23). O perfil estudado foi aberto no topo da encosta, de acordo com Silva et al. (2001) os Latossolos Amarelos estão situados nos terços superiores e superfícies aplanadas dos Tabuleiros Costeiros. Na região que antecede a Borborema, sob influência de rochas cristalinas, geralmente ocorrem nas encostas acidentadas e nos topos dos morros ou elevações.

Figura 6.23 – Latossolo Amarelo identificado nas áreas de estudo.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

6.4.4 - Caracterização Geotécnica

A investigação geotécnica envolve a determinação da natureza e comportamento de todos os aspectos de uma determinada área e as condições ambientais que podem influenciar ou ser influenciada pelo projeto. A proposta básica de uma investigação geotécnica é prover

suficientes informações para permitir a tomada de boas decisões durante as fases de avaliação, projeto e construção (COUTINHO E SEVERO, 2009). Bandeira (2003) acrescenta que uma ação conjunta de intervenções em áreas de encostas requer um estudo detalhado da área, com a caracterização geotécnica dos materiais.

Para a caracterização geotécnica dos solos dos setores, foram coletadas amostras indeformadas (blocos) e amolgadas (sacos). No Laboratório de Solos & Instrumentação da UFPE foram realizados ensaios de caracterização (granulometria, limites de Atterberg, densidade dos grãos) com as amostras amolgadas. Os blocos foram destinados para ensaios de cisalhamento direto (condição de umidade natural e saturada) e edométrico duplo. Vale ressaltar que, como o foco desta dissertação é o estudo de mapeamento de áreas de risco, a investigação geotécnica aqui apresentada auxilia no conhecimento preliminar das características locais.

6.4.4.1- Coleta da amostra

À medida que foram realizados os reconhecimentos pedológicos dos perfis, amostras deformadas de cada horizonte identificado foram retiradas, a fim de serem caracterizados perfis típicos de alguns setores. Ressalta-se que as amostras coletadas foram obtidas em perfis pouco profundo, com cerca de 2 metros, o que de certa forma, dificultou o melhor entendimento geotécnico da área.

Em relação aos blocos a amostragem foi realizada em dezembro de 2015, correspondendo ao período seco na região. Para obtenção das amostras amolgadas e indeformadas foram seguidas as especificações da NBR 9604/86 (ABNT, 1986). A escolha da localização da retirada dos blocos obedeceu a dois critérios básicos: (1) Área dentro dos setores de risco que apesar de ocupada se mostrasse preservada. (2) Uma encosta que permitisse a retirada dos blocos obedecendo a um critério de perfil, para retirada no topo e na base.

O setor que apresentou as melhores características para o recolhimento dos blocos foi o setor 4. Trata-se de uma área com encosta relativamente preservada, com aproximadamente 60 m de altura, que está em expansão de ocupação. A localização da retirada dos blocos é possível visualizar na Figura 6.24. Foram extraídos 2 blocos, um na base chamado de Bloco 1 com profundidade de escavação de 1,10 metros nas coordenadas $8^{\circ}7'34.72''S/35^{\circ}5'25.79''O$ (Figura 6.25) e um no topo, chamado de Bloco 2, com escavação de 1,60 metros de profundidade nas coordenadas $8^{\circ}7'34.39''S/35^{\circ}5'26.71''O$ (Figura 6.26).

As amostras amolgadas dos perfis foram retiradas dos setores 7, 9, 10. O setor 10 trata-se de um anfiteatro, densamente povoado, no campo foi observada ocorrência de pequenos deslizamentos na área. O setor 7 se trata de uma área íngreme que apresenta uma face da encosta

totalmente ocupada e observa-se o início da ocupação da outra face, também se observou pequenos escorregamentos. O setor 9 apresenta grau de entalhamento do vale muito forte e dentro do mesmo encontra-se uma antiga pedreira.

Figura 6.24 – Vista geral de localização da retirada dos blocos.



Fonte: Adaptado Google Earth.

Figura 6.25 - Bloco retirado na base da encosta.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Figura 6.26 - Bloco retirado no topo da encosta.



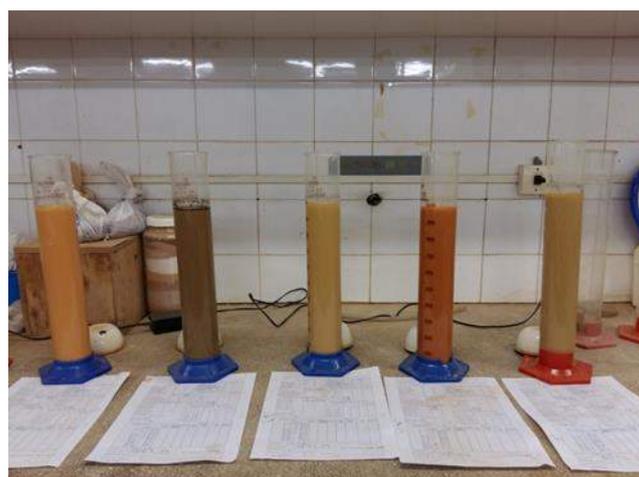
Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

6.4.4.2 - Ensaio de caracterização

Para realização destes ensaios primeiramente as amostras amolgadas ficaram expostas ao ambiente por alguns dias para que atingissem a umidade higroscópica e em seguida foram destorroadas. Os ensaios de granulometria realizados com e sem adição de defloculante, limites de Atterberg e densidade dos grãos foram realizados de acordo como descritos nas normas:

| | |
|-------------|----------------------------------|
| NBR 6457/86 | Amostras de solo |
| NBR 6459/84 | Limite de liquidez |
| NBR 6508/84 | Determinação da massa específica |
| NBR 7180/84 | Limite de plasticidade |
| NBR 7181/84 | Análise granulométrica |

Figuras 6.27 e 6.28 – Destorroamento do solo e ensaio de sedimentação.



Fonte: A autora.

6.4.4.3 - Ensaio de Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto é utilizado para determinar parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo. O ensaio foi realizado através da prensa de cisalhamento direto convencional, produzida pela Ronald Top S/A, com sistemas de cargas verticais, através de peso em pendural. As leituras das deformações verticais e deslocamento horizontal foram realizadas através dos extensômetros da marca Mitutoyo com sensibilidade de 0,01mm; e as forças horizontais aplicadas aos corpos de prova foram determinadas através de um anel de carga.

Os corpos de prova foram moldados em laboratório, a partir de amostra indeformada, e utilizando-se uma caixa prismática de 4” (101,6mm) de aresta e altura de 38mm. Para o ensaio foram aplicadas tensões verticais de: 25 kPa; 50 kPa; 100 kPa e 200 kPa. Os corpos de prova foram ensaiados na condição de umidade natural e saturado. Eles foram inicialmente inundados por um período de 24 horas, sendo após este tempo, adensado por uma hora para estabilização dos recalques.

6.4.4.4 - Ensaio edométrico duplo

O ensaio edométrico duplo foi realizado de modo a avaliar a compressibilidade do material e verificação do potencial de colapso. Foram utilizadas células convencionais tipo Bishop e prensas de adensamento fabricadas pela Ronald Top S.A, com sistema de cargas através de pesos em pendural e relação de braço 1:10 na realização dos ensaios edométricos duplos. As deformações foram medidas através de extensômetros.

Para as amostras indeformadas moldadas dos blocos, os corpos de prova foram ensaiados na condição de umidade natural e na condição inundada.

Nos ensaios realizados na condição inundada, a inundação do corpo de prova foi realizada pela parte inferior da célula com água destilada por um período mínimo de 24 horas, com o objetivo de ser mantida a condi o de satura o durante todo período do ensaio

Figura 6.29 – Leitura do ensaio edométrico duplo.



Fonte: A autora.

6.4.4.5 – Resultados da Análise Granulométrica

A figura 6.30 e 6.31 apresentam respectivamente as curvas granulométricas típicas dos materiais de cada bloco. Na Tabela 6.2 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de granulometria e limite de consistência realizados nas amostras amolgadas dos blocos.

Figura 6.30– Curva granulométrica do solo – Bloco 1

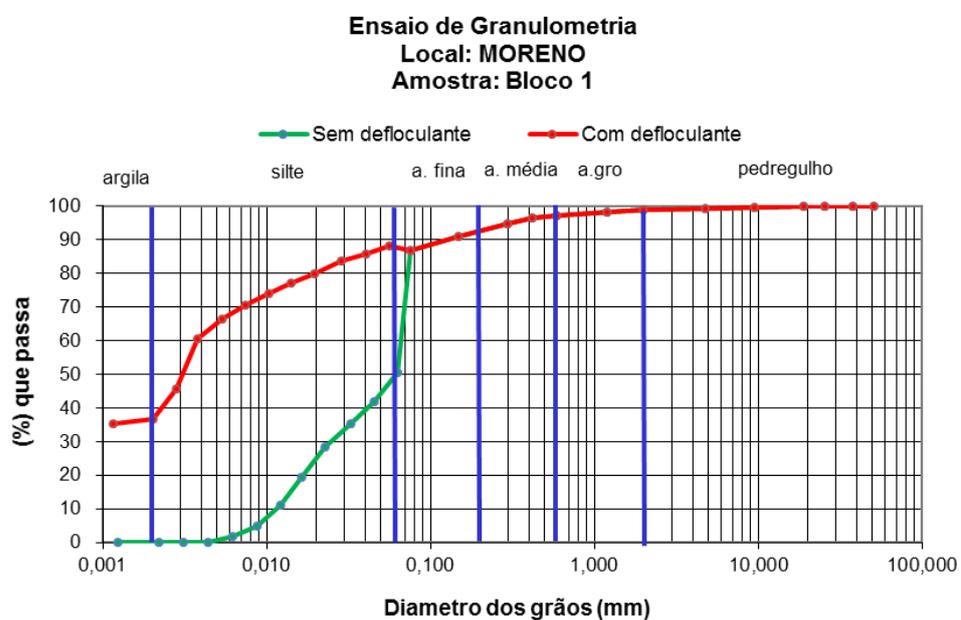
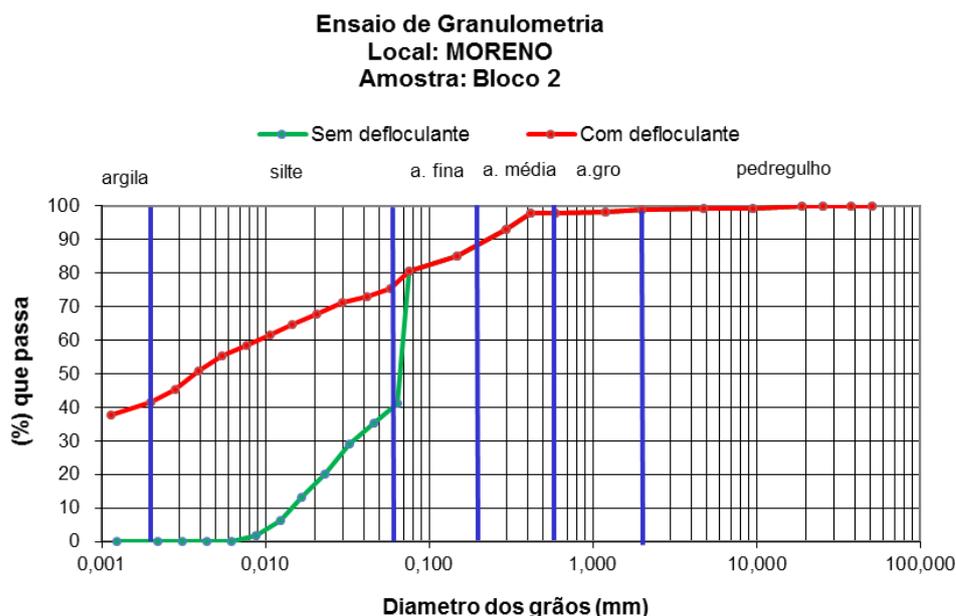


Figura 6.31– Curva granulométrica do solo – Bloco 2



As curvas granulométricas dos blocos são bastantes semelhantes, verifica-se que as amostras foram compostas por solos de textura fina (mais de 50% passando na peneira 0,075mm). Ao observar o ensaio com defloculante o solo apresenta-se como uma argila siltosa, ao analisar o ensaio sem defloculante, representando as condições como é encontrado no campo, observa-se que argila está agregada sobre a forma de torrões de tamanho aproximado de areia fina, podendo em algumas situações se comportar como areia siltosa. O solo do topo é considerado um solo residual maduro, enquanto que o da base exhibe características de um solo residual jovem. Os resultados obtidos no ensaio de Limites de Atterberg indicam que as amostras são de média plasticidade (IP entre 16,4 e 23,9). Na classificação unificada (SUCS), as amostras foram classificadas como CL (argila de baixa compressibilidade). Segundo Bandeira (2003) solos do tipo CL são mais suscetíveis a escorregamentos, isto é um fator alarmante, principalmente em uma área como o setor 4, que está em expansão e todos os dias surgem cortes desordenados que interferem na estabilidade da encosta

Com o objetivo de se obter a atividade da fração argila, determinou-se o Índice de Atividade (IA), expresso pela razão entre o Índice de Plasticidade (IP) e o percentual da fração argila de acordo com Skempton (1953). A literatura geral apresenta que a argila presente num solo é considerada normal quando seu índice de atividades se situa entre 0,75 e 1,25. Quando o índice é menor que 0,75, considera-se a argila como inativa, quando o índice é maior que 1,25, ela é considerada ativa. Os dois blocos obtiveram IA menor que 0,75, sendo as argilas consideradas inativas. As Tabelas 6.3, 6.4 e 6.5 apresentam os resultados obtidos das amostras coletadas nos perfis.

Tabela 6.2 - Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo - Blocos

| Amostra | Prof. (m) | Localização | Condição do Ensaio | Pedreg. (%) | Areia Grossa (%) | Areia Média (%) | Areia Fina (%) | Silte (%) | Argila (%) | Densidade Real (g/cm ³) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | SUC S | Índice de atividade | |
|----------------|-----------|-------------|--------------------|-------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------|---------------------|----------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | IA | Classificação |
| Bloco 1 Moreno | 1,1 | Base | Com defloculante | 0 | 2 | 6 | 3 | 52 | 37 | 2,649 | 43,1 | 26,7 | 16,4 | CL | 0,44 | Argila inativa |
| | | | Sem defloculante | 0 | 2 | 6 | 42 | 50 | 0 | | | | | | | |
| Bloco 2 Moreno | 1,6 | Topo | Com defloculante | 0 | 1 | 9 | 13 | 35 | 42 | 2,652 | 47,2 | 23,3 | 23,9 | CL | 0,56 | Argila inativa |
| | | | Sem defloculante | 0 | 1 | 9 | 50 | 40 | 0 | | | | | | | |

Tabela 6.3 - PERFIL SETOR 10: Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo

| Prof. da coleta (m) | Granulometria | | | | | | | Densidade Real (g/cm ³) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | SUCS | Índice de atividade | |
|---------------------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|------|---------------------|----------------|
| | Ensaio | Ped. (%) | Areia G. (%) | Areia M. (%) | Areia F. (%) | Silte (%) | Argila (%) | | | | | | IA | Classificação |
| 0 a 0,2 | Com defloculante | 0 | 20 | 25 | 18 | 14 | 23 | 2,670 | 43,0 | 30,11 | 12,89 | SC | 0,56 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 20 | 25 | 53 | 2 | 0 | | | | | | | |
| 0,2 a 0,5 | Com defloculante | 0 | 10 | 14 | 8 | 16 | 52 | 2,649 | 29,60 | 19,69 | 9,91 | CL | 0,19 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 10 | 14 | 59 | 17 | 0 | | | | | | | |
| 0,5 a 0,8 | Com defloculante | 0 | 10 | 12 | 10 | 16 | 52 | 2,659 | 58,20 | 35,03 | 23,17 | MH | 0,44 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 10 | 12 | 64 | 14 | 0 | | | | | | | |
| 0,8 a 1,2 | Com defloculante | 0 | 9 | 8 | 5 | 18 | 60 | 2,659 | 66,80 | 36,64 | 30,16 | MH | 0,50 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 9 | 8 | 63 | 20 | 0 | | | | | | | |
| 1,2 a 2,0 | Com defloculante | 0 | 7 | 7 | 9 | 25 | 52 | 2,656 | 42,90 | 30,94 | 11,96 | CL | 0,23 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 7 | 7 | 69 | 17 | 0 | | | | | | | |

Tabela 6.4 - PERFIL SETOR 7: Composição granulométrica do solo, limite de consistência, índice de atividade da argila e classificação do solo.

| Prof. da coleta (m) | Granulometria | | | | | | | Densidade Real (g/cm ³) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | SUCS | Índice de atividade | |
|---------------------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|------|---------------------|----------------|
| | Ensaio | Ped. (%) | Areia G. (%) | Areia M. (%) | Areia F. (%) | Silte (%) | Argila (%) | | | | | | IA | Classificação |
| 0 a 0,08 | Com defloculante | 0 | 7 | 21 | 19 | 15 | 38 | 2,652 | 29,70 | 21,44 | 8,26 | CL | 0,21 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 7 | 21 | 55 | 17 | 0 | | | | | | | |
| 0,08 a 0,24 | Com defloculante | 0 | 7 | 17 | 19 | 23 | 34 | 2,649 | 37,10 | 23,56 | 13,54 | CL | 0,39 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 7 | 17 | 59 | 17 | 0 | | | | | | | |
| 0,24 a 0,65 | Com defloculante | 0 | 6 | 14 | 19 | 14 | 47 | 2,663 | 44,51 | 24,04 | 20,47 | CL | 0,43 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 6 | 14 | 63 | 17 | 0 | | | | | | | |
| 0,65 a 1,64 | Com defloculante | 0 | 2 | 8 | 10 | 10 | 70 | 2,663 | 74,40 | 41,22 | 33,18 | MH | 0,47 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 2 | 8 | 68 | 22 | 0 | | | | | | | |

Tabela 6.5 - PERFIL SETOR 9: Composição granulométrica do solo, limite de consistência e classificação do solo.

| Prof. da coleta (m) | Granulometria | | | | | | | Densidade Real (g/cm ³) | LL (%) | LP (%) | IP (%) | SUCS | Índice de atividade | |
|---------------------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|------|---------------------|----------------|
| | Ensaio | Ped. (%) | Areia G. (%) | Areia M. (%) | Areia F. (%) | Silte (%) | Argila (%) | | | | | | IA | Classificação |
| 0 a 0,20 | Com defloculante | 0 | 6 | 14 | 20 | 26 | 34 | 2,659 | 35,80 | 23,96 | 11,84 | CL | 0,34 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 6 | 14 | 61 | 19 | 0 | | | | | | | |
| 0,2 a 0,6 | Com defloculante | 0 | 3 | 10 | 11 | 18 | 58 | 2,670 | 58,8 | 29,39 | 29,41 | CH | 0,50 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 3 | 10 | 64 | 23 | 0 | | | | | | | |
| 0,6 a 1,1 | Com defloculante | 0 | 2 | 6 | 7 | 12 | 73 | 2,642 | 66,10 | 40,92 | 25,18 | MH | 0,34 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 2 | 6 | 72 | 20 | 0 | | | | | | | |
| 1,1 a 1,5 | Com defloculante | 0 | 2 | 7 | 3 | 20 | 68 | 2,645 | 76,0 | 42,52 | 33,48 | MH | 0,49 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 2 | 7 | 66 | 25 | 0 | | | | | | | |
| 1,5 a 2,2 | Com defloculante | 0 | 1 | 2 | 6 | 33 | 58 | 2,649 | 58,40 | 36,26 | 22,14 | MH | 0,38 | Argila Inativa |
| | Sem defloculante | 0 | 1 | 2 | 67 | 30 | 0 | | | | | | | |

No perfil do Setor 10 (Tabela 6.3) a camada mais superficial (0 a 0,20 m) foi classificada como SC (areia argilosa), de plasticidade média. As camadas seguintes variaram entre CL (argila de baixa compressibilidade) e MH (silte argiloso). Apresentando plasticidade média, com exceção da camada de 0,8 a 1,2 metros apresentando um solo altamente plástico (IP igual a 30,16). Em todas as camadas a argila foi considerada inativa. O perfil avaliado apresentou predominância de solo argilo arenoso. As camadas de solo do tipo SC e MH de acordo com Loppis Trilho (1999) possuem alta suscetibilidade a erosão. Essas características associadas ao fato que no setor, devido a sua alta ocupação, é comum encontrar solo exposto, seja pelos taludes de corte, ou pela retirada da vegetação pela população, tudo isso contribui ainda mais para esse processo.

No perfil do Setor 7 (Tabela 6.4) as 3 primeiras camadas são consideradas argilas de baixa compressibilidade (CL) com plasticidade média (IP entre 8,26 e 20,47). Na camada mais profunda encontra-se um silte argiloso (MH) de plasticidade alta. Em todas as camadas a argila é considerada inativa. O perfil apresentou uma predominância de solo do tipo argilo arenoso. Se trata de mais uma área dentro município que vem crescendo de forma desordenada e que apresenta características de solos suscetíveis a deslizamentos.

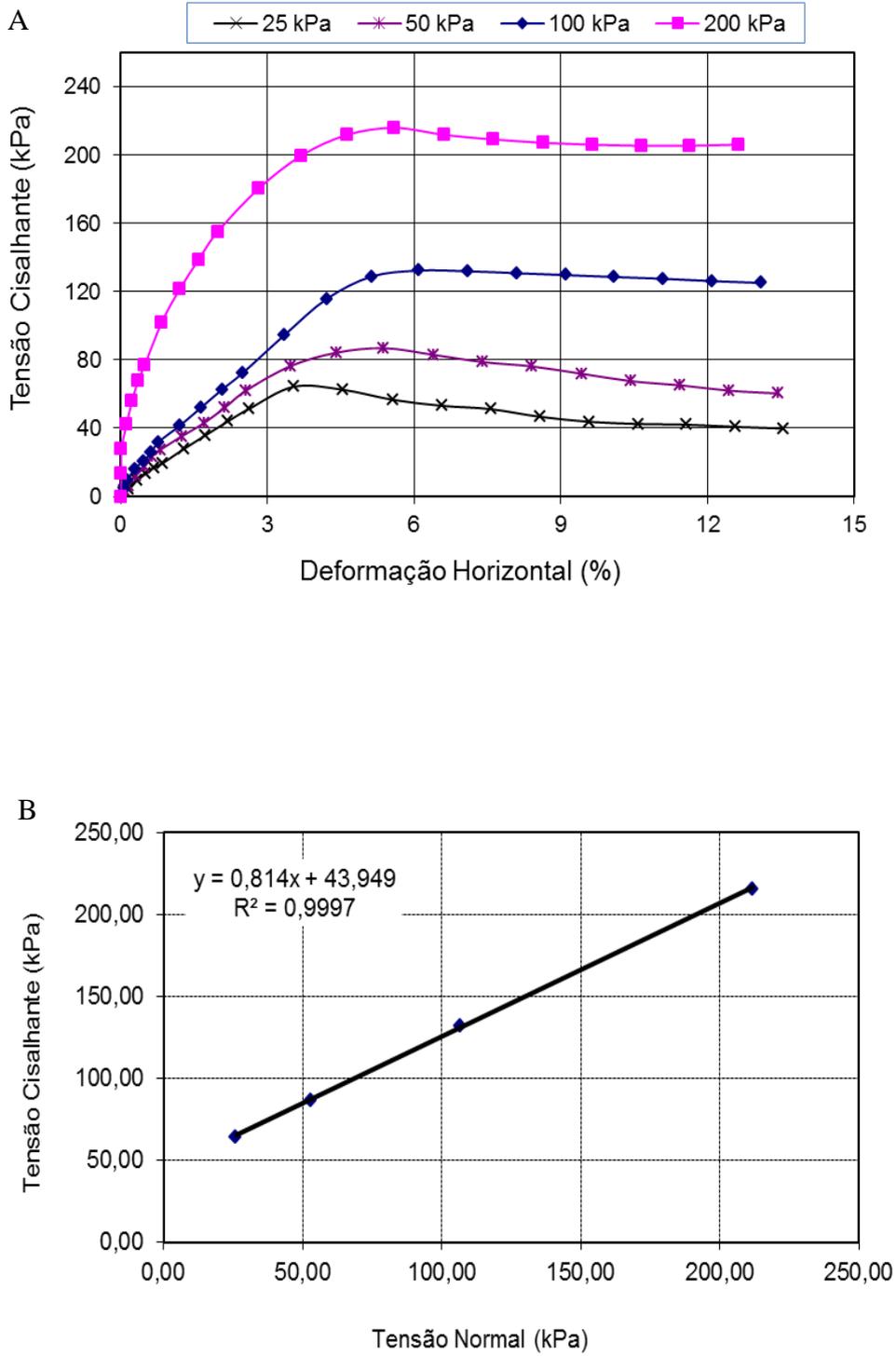
O Setor 9 apresenta na camada de 0 a 0,20 metros, argila de baixa compressibilidade (CL) com média plasticidade. A camada subsequente se trata de um solo CH (argila de alta compressibilidade) com alta plasticidade. As demais camadas são MH (silte argiloso), as suas consistências variam de média a alta plasticidade (IP entre 22,14 a 33,48). Para todas as camadas a argila é considerada inativa. O solo do perfil estudado neste setor, apresenta uma predominância de argila siltosa.

6.4.4.6 - Resultados de Resistência ao Cisalhamento

Para o Bloco 1, retirado a uma profundidade de 1,1 metros a Figura 6.32 (A) apresenta a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição de umidade natural. A Figura 6.32 (B) apresenta a envoltória de resistência, onde foram considerados os valores máximos das tensões cisalhantes e suas respectivas tensões normais.

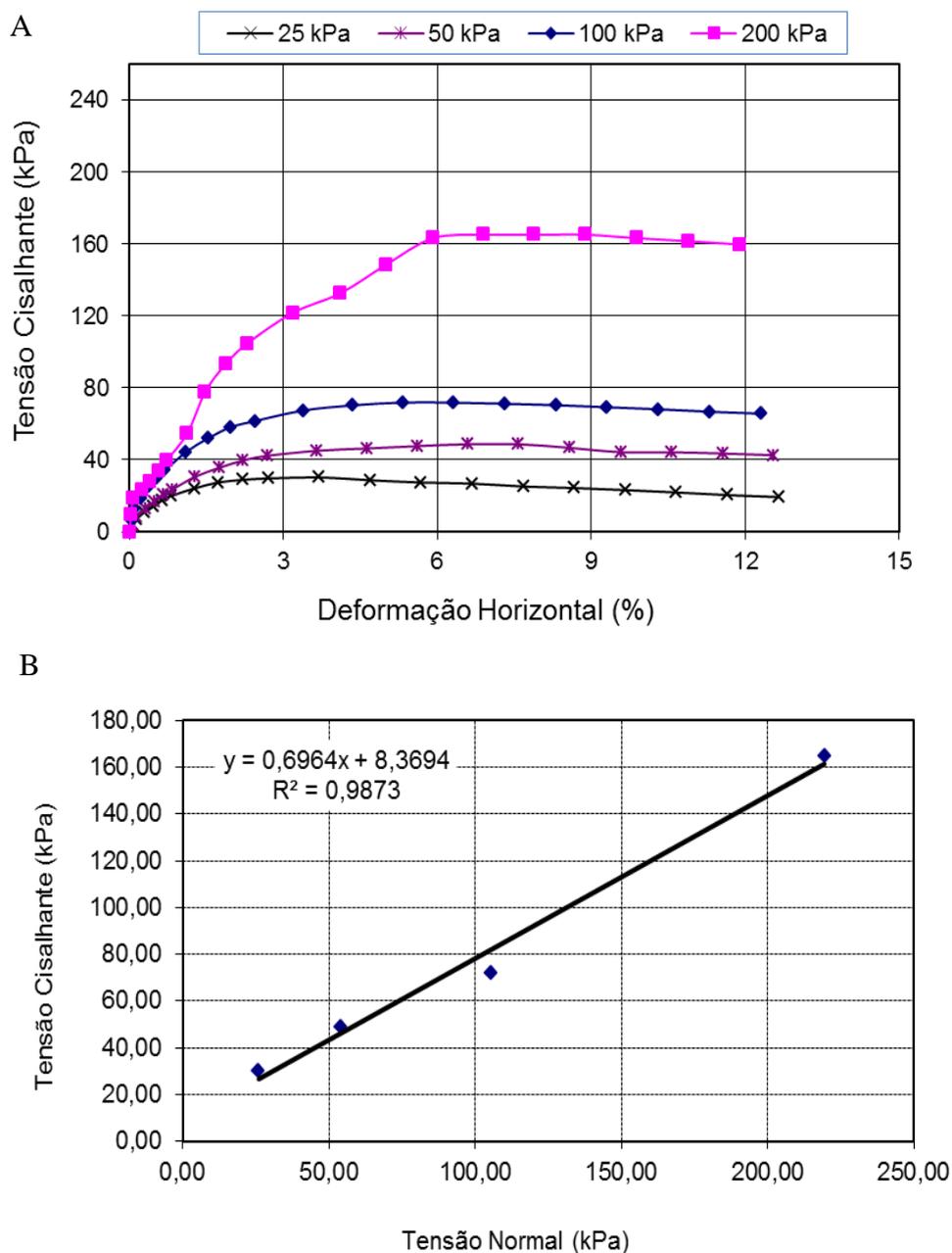
Nota-se um pico pouco pronunciado para as tensões de 25 e 50 kPa, enquanto que para as tensões de 100 e 200 kPa não apresentou pico. Caracterizando-se assim um material de comportamento plástico.

Figura 6.32 (A) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra natural); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaio de Cisalhamento Direto.



A Figura 6.33 (A) demonstra a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição inundada. A Figura 6.33 (B) apresenta a envoltória de resistência.

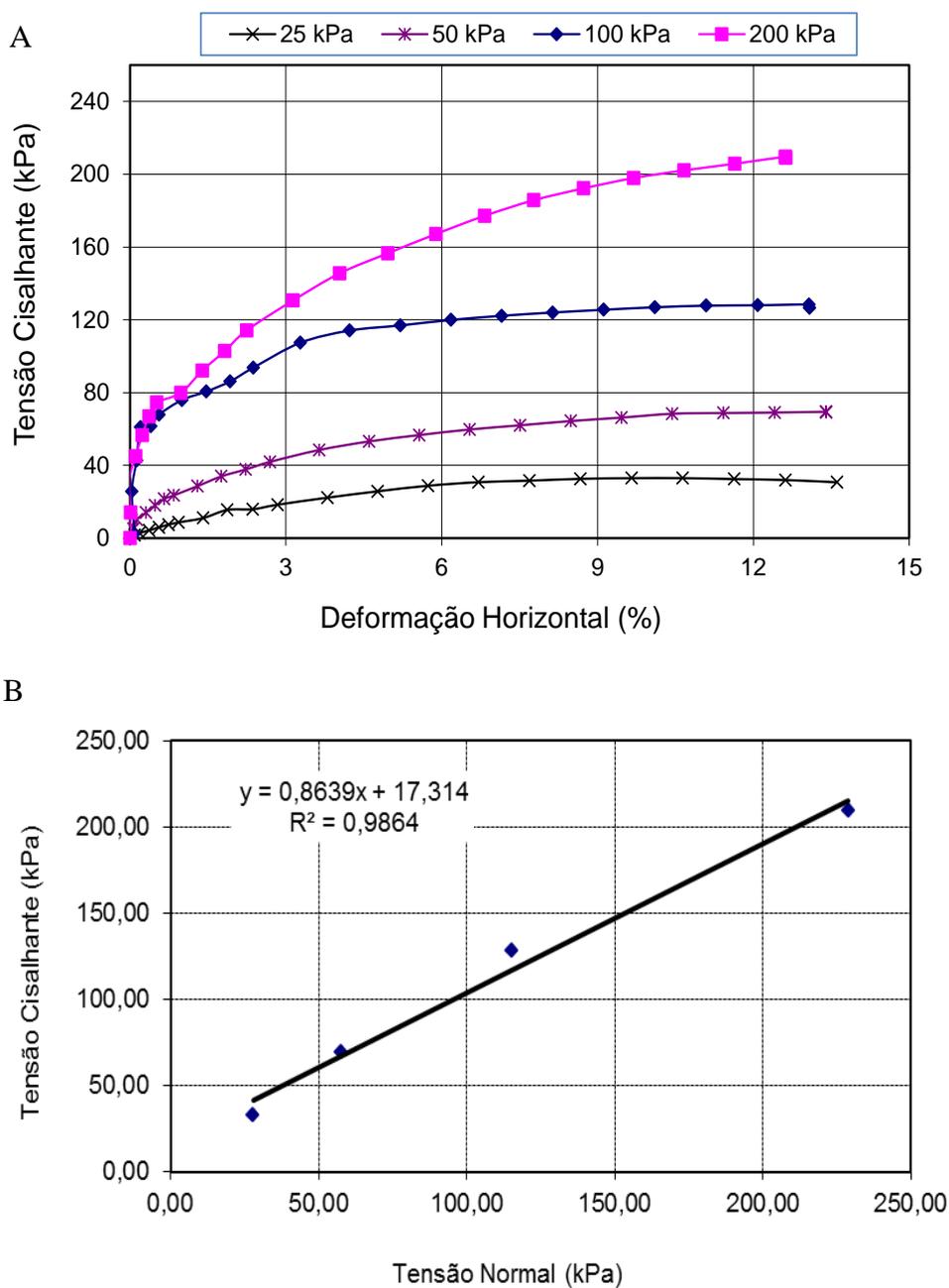
Figura 6.33 (A) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra saturada); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto.



Nesta situação a ruptura das amostras não apresentou picos para nenhuma das tensões normais aplicadas. Também apresentando comportamento plástico.

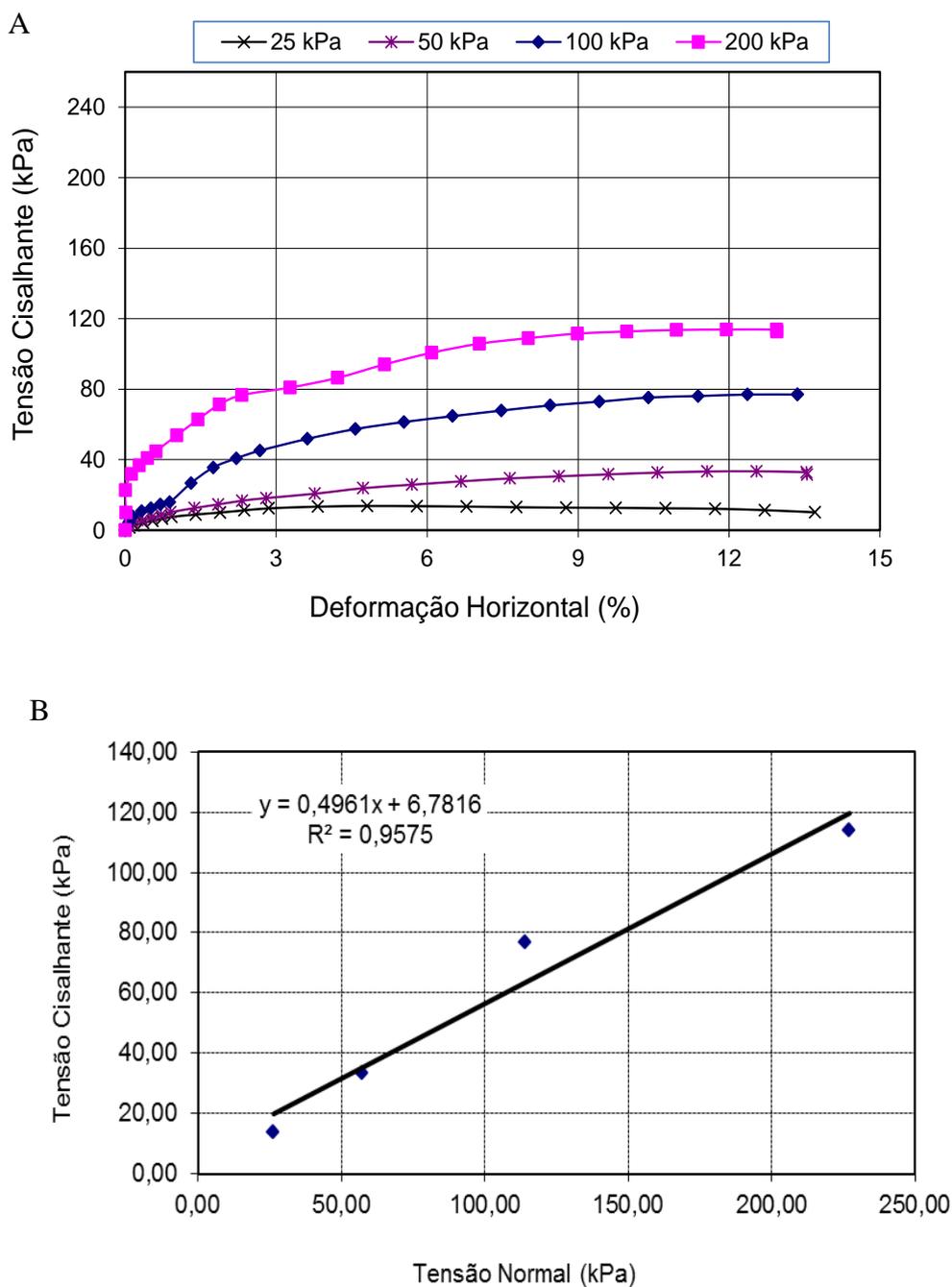
Para o Bloco 2 retirado a 1,60 metros de profundidade. A Figura 6.34 (A) demonstra a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição natural. A Figura 6.34 (B) apresenta a envoltória de resistência.

Figura 6.34 (A) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra natural); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto.



A Figura 6.35 (A) demonstra a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição inundada. A Figura 6.35 (B) apresenta a envoltória de resistência.

Figura 6.35 (A) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra saturada); (B) Envoltórias de Resistência dos Ensaio de Cisalhamento Direto.



Tanto para a condição natural como inundada, não se observa pico em nenhuma das tensões, o material se comporta de maneira geral como plástico.

A Tabela 6.6 apresenta os parâmetros de resistência obtidos através de regressão linear para os ensaios realizados na umidade natural e saturada.

Tabela 6.6 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento.

| Amostra | Localização | Solo | Prof. (m) | Condição do CP | Coesão (kPa) | Ângulo de atrito ϕ (°) |
|-------------------|-------------|--------------------|-----------|----------------|--------------|-----------------------------|
| Bloco 1 Moreno | Base | Residual Jovem | 1,1 | Natural | 44,0 | 39,1 |
| | | | | Inundado | 8,34 | 35,0 |
| Bloco2 Moreno | Topo | Residual Maduro | 1,6 | Natural | 17,3 | 30,2 |
| | | | | Inundado | 6,70 | 26,3 |

Observa-se na Tabela 6.6 que os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo do Bloco 1 apresentaram maiores valores de coesão (44 kPa; 8,3 kPa) do que os valores de coesão do Bloco 2 (17,4 kPa; 6,7 kPa). Da mesma forma, o ângulo de atrito apresentou um maior valor para o material do bloco 1 (39,1°; 35,0°) do que para o material do bloco 2 (30,2°; 26,3°). Portanto, o material presente na base da encosta apresenta uma maior resistência ao cisalhamento.

Os resultados encontrados no material do topo da encosta, considerado um solo residual maduro que como visto na tabela, apresenta na condição inundada coesão de 6,7 kPa e ângulo de atrito 26,3°, corroboram com resultados de trabalhos citados por Coutinho e Severo (2009) na qual pesquisa desenvolvida no Cabo de Santo Agostinho-PE em solo laterítico de granito na condição inundada apresentou ângulo de atrito de 31, 3° e coesão de 7,6 kPa, estudando outro município de Pernambuco, no caso Camaragibe, solo laterítico de granito sobre condição inundada apresentou ângulo de atrito de 26,3° e 9,7 kPa de coesão. Mitchell e Coutinho (1991) baseados em um apanhando de trabalhos, comentam que para solo residual maduro de granito o ângulo de atrito costuma variar entre 20° e 40°.

Para os resultados encontrados no solo residual jovem da base da encosta, na condição inundada, o ângulo de atrito foi de 35° e coesão de 8,34 kPa encontraram-se valores próximos em estudos realizados em Portugal na cidade do Porto, em solo saprolítico de granito, onde foram encontrados resultados variando entre 37 e 38° para o ângulo de atrito e coesão entre 9 e 12 kPa conforme mencionado por Coutinho e Severo (2009). Da mesma forma Mitchell e Coutinho (1991) apontam que para solos residual jovem o ângulo de atrito está entre 30° e 40°.

6.4.4.7- Resultados do Ensaio Edométrico Duplo

Compressibilidade

Nas Tabelas 6.7 e 6.8 estão sumarizados os resultados obtidos nos ensaios edométricos duplos realizados nos blocos indeformados. Os gráficos de deformação volumétrica (E_v) x tensão vertical efetiva (σ'_v) estão apresentados nas Figuras 6.36 e 6.37. Observa-se que o índice de compressão (c_c) na condição de umidade natural do Bloco 2 é pouco maior (0,152) do que o índice de compressão do Bloco 1 (0,141), conforme é observado na pequena variação de valores da deformação volumétrica entre os dois blocos. Na condição de umidade natural, a deformação volumétrica foi de 6,7 % (Bloco 1) e 6,0 % (Bloco 2), considerando a condição inundada, a deformação volumétrica foi de 13,0 % (Bloco 1) e 14,7 % (Bloco 2), ambos os casos para uma tensão vertical efetiva de 320 kPa.

Analisando a relação entre o valor da tensão de escoamento (σ'_{vm}) e a tensão efetiva vertical atual (σ'_{v0}) percebe-se que se trata de um solo pré-adensado. A tensão de escoamento é maior (200 kPa) no Bloco 2, localizado no topo da encosta, do que no Bloco 1 (150 kPa).

Tabela 6.7 – Resumo dos resultados do ensaio edométrico duplo – Bloco 1

| Ensaio edométrico duplo / Bloco 1-Moreno | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Índice / Parâmetro | Umidade natural | Inundado |
| Índice de vazios (e_0) | 0,443 | 0,441 |
| Índice de compressão, (C_c) | 0,141 | 0,237 |
| Índice de expansão, (C_r) | 0,032 | 0,041 |
| Tensão de escoamento, σ'_{vm} (kPa) | 150 | 110 |
| Saturação inicial, S_r (%) | 66,75 | 66,31 |
| Umidade inicial, W (%) | 11,15 | 11,05 |
| Peso específico úmido, ρ (kN/m ³) | 20,41 | 20,41 |
| Peso específico seco, ρ_d (kN/m ³) | 18,36 | 18,36 |

Tabela 6.8 – Resumo dos resultados do ensaio edométrico duplo – Bloco 2

| Ensaio edométrico duplo / Bloco 2 - Moreno | | |
|---|------------------------|-----------------|
| Índice / Parâmetro | Umidade natural | Inundado |
| Índice de vazios (e_0) | 0,384 | 0,448 |
| Índice de compressão, (C_c) | 0,152 | 0,232 |
| Índice de expansão, (C_r) | 0,021 | 0,057 |
| Tensão de escoamento, σ'_{vm} (kPa) | 200 | 56 |
| Saturação inicial, S_r (%) | 80,32 | 99,33 |
| Umidade inicial, W (%) | 11,64 | 16,79 |
| Peso específico úmido, ρ (kN/m ³) | 21,40 | 21,40 |
| Peso específico seco, ρ_d (kN/m ³) | 19,14 | 19,04 |

Figura 6.36 - Comparação entre amostra inundada e na umidade natural – Bloco 1

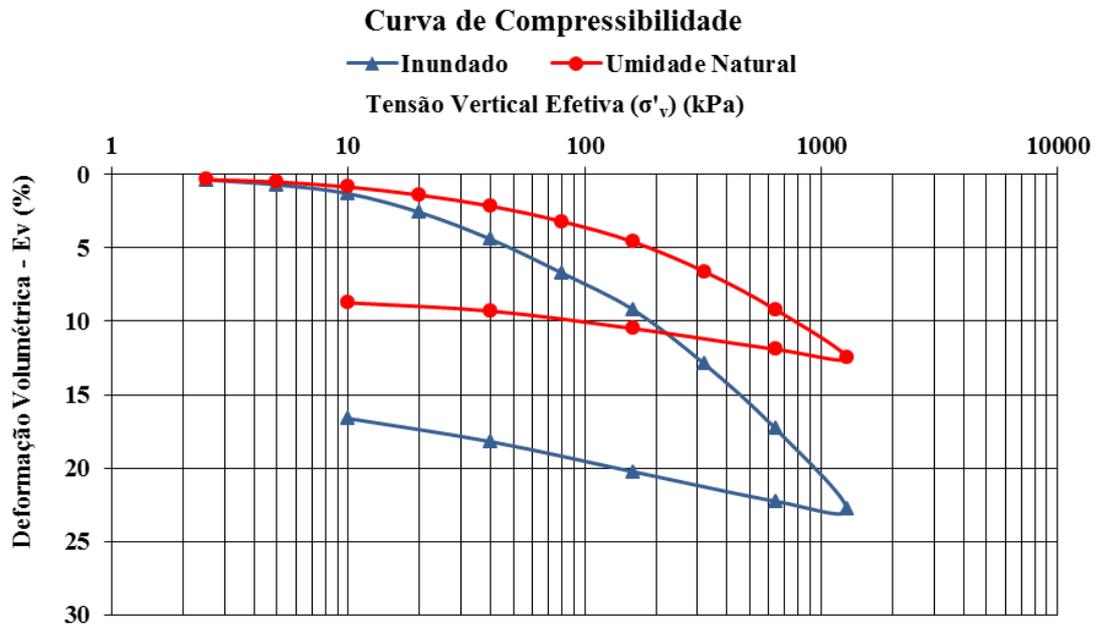
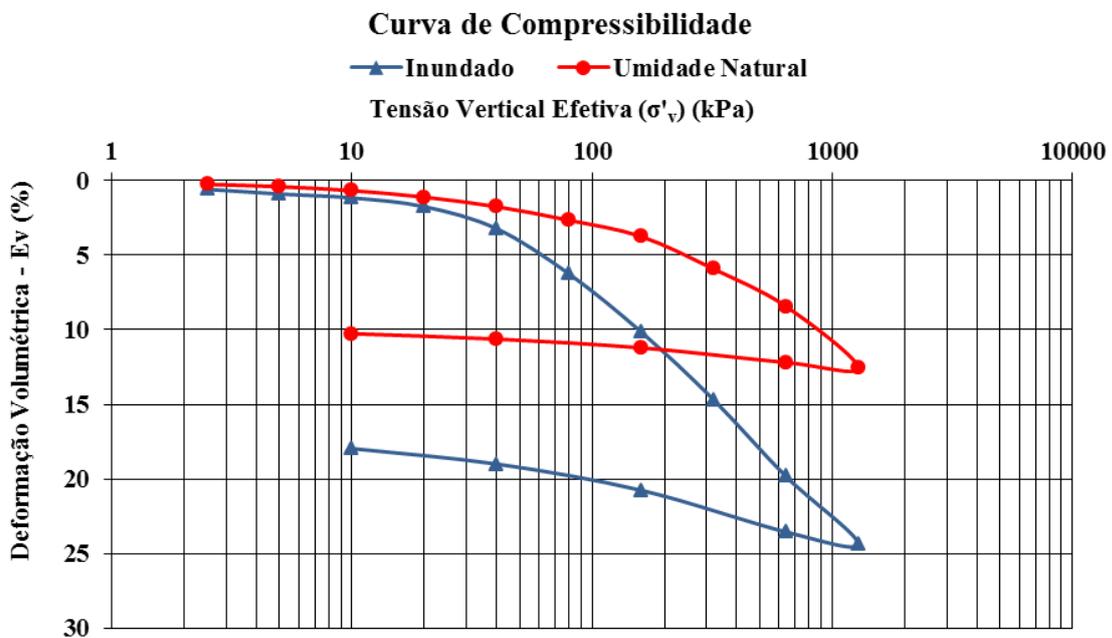


Figura 6.37 - Comparação entre amostra inundada e na umidade natural – Bloco 2



Colapso

Através dos resultados do adensamento duplo, é possível perceber que as amostras inundadas tiveram maiores deformações (para a mesma tensão) do as amostras não inundadas. Esse aumento de deformação com a inundação representa o grau de colapso da amostra.

A avaliação da colapsibilidade de um solo por meio de ensaios edométricos tem a vantagem de levar em consideração as tensões atuantes e quantificar o potencial de colapso, sendo extensível a qualquer formação e tipo de solo (SOUZA NETO, 2004).

Baseados em resultados de ensaios edométricos duplos, REGINATTO E FERRERO (1973) apresentam um critério para determinar sob duas condições limites: na umidade natural e na condição inundada, a susceptibilidade ao colapso dos solos para uma determinada tensão vertical, tomando-se como referência à tensão vertical geostática e a tensão de escoamento (referida como tensão de colapso). Desta forma o coeficiente de colapsibilidade é definido pela equação:

$$C = \frac{\sigma_{vms} - \sigma_{v0}}{\sigma_{vmn} - \sigma_{v0}}$$

Onde:

σ_{v0} = tensão vertical geostática,

σ_{vmn} = tensão de escoamento do solo na umidade natural,

σ_{vms} = tensão de escoamento do solo na condição inundada.

Através do coeficiente de colapsibilidade determina-se se há perigo de colapso e para qual nível de tensão esse colapso ocorrerá. Dessa forma tem-se:

- 1) quando $\sigma_{vms} < \sigma_{v0}$ e $C < 0$, o solo será considerado “verdadeiramente colapsível”, onde grandes recalques ocorrerão sob saturação, até mesmo sob o peso próprio;
- 2) quando $\sigma_{vms} > \sigma_{v0}$ e $0 < C < 1$, o solo será considerado “condicionalmente colapsível”. A ocorrência de colapso dependerá do valor de σ_v . Quando $\sigma_v < \sigma_{vms}$ nenhum colapso ocorrerá quando o solo for inundado e o máximo incremento de tensão que o solo pode suportar será $\sigma_{vms} - \sigma_{v0}$. Se $\sigma_{vms} < \sigma_v < \sigma_{vmn}$, o colapso ocorrerá quando o solo for inundado após o carregamento. Se $\sigma_v > \sigma_{vmn}$, o colapso ocorrerá até mesmo sem inundação;
- 3) quando $C = 1$ o colapso não ocorrerá, sendo uma condição restrita a poucos solos. Na maioria dos casos C é menor que 1, incluindo alguns solos não colapsíveis;
- 4) quando $C = -\infty$, $\sigma_{vmn} = \sigma_{v0}$ é o caso de solos não-cimentados, normalmente consolidados.

A partir dos resultados dos ensaios edométricos duplos com amostras na condição de umidade natural e amostras inundadas (para os corpos de prova dos blocos indeformados), determinou-se os coeficientes de colapsibilidade de cada amostra. As informações para o cálculo do coeficiente de colapsibilidade e a classificação segundo Reginatto e Ferrero encontram-se na Tabela 6.9. Os pesos específicos naturais foram obtidos a partir dos corpos de prova dos ensaios edométricos.

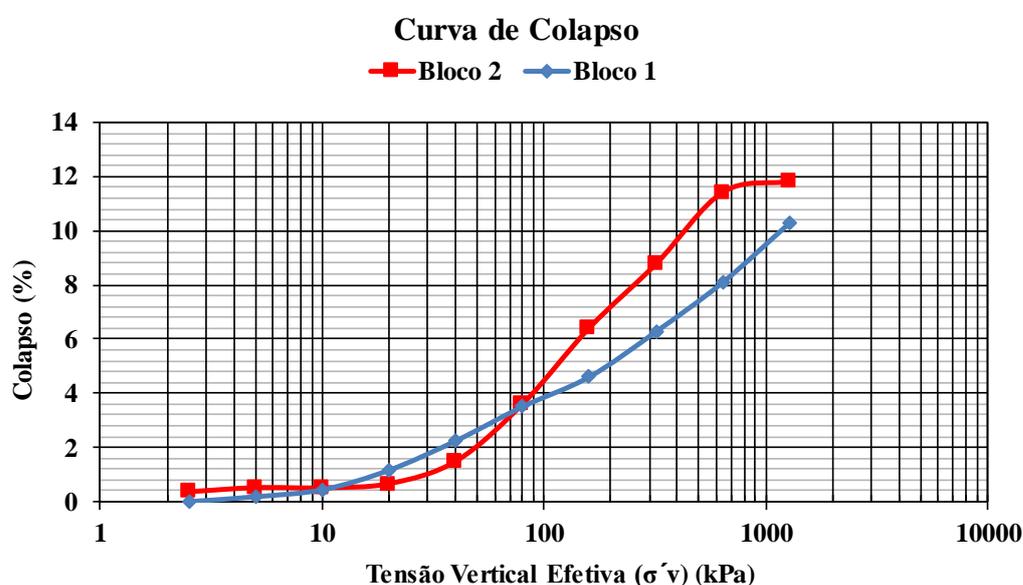
Tabela 6.9 – Resultados da colapsibilidade do solo segundo Reginatto e Ferrero (1973)

| Amostra | Localização | Prof. (m) | γ_{nat} (kN/m ³) | σ_{v0} (kPa) | σ_{vms} (kPa) | σ_{vmn} (kPa) | Reginatto e Ferrero (1973) | |
|-------------------|-------------|-----------|--|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------|
| | | | | | | | C | Classificação |
| Bloco 1 Moreno | Base | 1,1 | 20,4 | 19,4 | 110 | 150 | 0,694 | CC |
| Bloco 2 Moreno | Topo | 1,6 | 21,4 | 31,0 | 56 | 200 | 0,148 | CC |

CC –Condicionamente Colapsível; VC- Verdadeiramente Colapsível.

Através do critério de classificação proposto por Reginatto e Ferrero (1973), o solo é considerado condicionalmente colapsível ($\sigma_{vms} > \sigma_{v0}$ e $0 < C < 1$). O colapso de um solo condicionalmente colapsível ocorre quando se aplica uma tensão adicional maior do que σ_{v0} . Com isso, o solo suporta um acréscimo de tensão ($\sigma_{vms} - \sigma_{v0}$) sem apresentar colapso.

Figura 6.38 - Colapso x tensão vertical efetiva



Outra metodologia utilizada para avaliar o colapso foi a de Jennings e Knight (1975), os mesmos tratam o colapso como sendo uma ruptura cisalhante no material de ligação entre os grãos. Para os autores o mecanismo do colapso ocorre quando o solo em seu estado de umidade natural recebe um carregamento e a estrutura permanece ligeiramente inalterada, mas o material de ligação comprime sensivelmente sem apresentar grandes movimentos relativos dos grãos do solo. Quando ocorre um aumento no teor de umidade do solo até exercer uma umidade crítica e o mesmo está sob carregamento, o material de ligação não resiste as forças de deformação e a estrutura colapsa (SOUZA NETO, 2004). Assim a Tabela 6.10 apresenta a classificação de colapso proposta por eles, enquanto que a Tabela 6.11 demonstra os resultados encontrados no material estudado.

Tabela 6. 10 – Classificação da colapsibilidade Jennings e Knigth (1975)

| PC (%) | Gravidade dos problemas |
|---------|-------------------------|
| 0 a 1 | Sem problema |
| 1 a 5 | Problema moderado |
| 5 a 10 | Problemático |
| 10 a 20 | Problema grave |
| > 20 | Problema muito grave |

Como observado na Tabela 6.11, tanto o material do topo como da base são considerados problemáticos. Porém a classificação pode não ser tão precisa pois a metodologia proposta por Jennings e Knight (1975) é realizada através de ensaio edométrico simples com base no valor do potencial de colapso correspondente a uma tensão de inundação de 200 kPa.

Tabela 6. 11 – Classificação da colapsibilidade de acordo com Jennings e Knigth (1975)

| Bloco | Localização | ε_{200} (%) Umidade Natural | ε_{200} (%) Inundado | Jennings e Knigth (1975) | |
|-------|-------------|---|----------------------------------|--------------------------|--------------|
| | | | | PC (%) | Gravidade |
| 1 | Base | 5,1 | 10,2 | 5,1 | Problemático |
| 2 | Topo | 4,2 | 11,5 | 7,3 | Problemático |

CAPÍTULO 7

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação dos subsetores com maior potencial de serem afetados por processos de movimento de massa e inundação em Moreno permite indicar um conjunto de ações que venham a prevenir futuros acidentes. Neste capítulo são apresentados os resultados da análise da vulnerabilidade (físico-ambiental e socioeconômica cultural), suscetibilidade, perigo e risco. Além de considerações relacionadas à vulnerabilidade institucional e a aspectos de resiliência das comunidades observadas na área de estudo no município.

7.1 - Considerações iniciais sobre a análise dos resultados

As análises aqui apresentadas foram fundamentadas em avaliações dos parâmetros que interferem na suscetibilidade formada pela junção de características naturais inerentes à região estudada, impactadas pelo mau uso e ocupação do solo de forma não planejada, bem como, na vulnerabilidade das pessoas e estruturas que estão sujeitas ao risco. Importante destacar que o mapeamento apresentado indica as características observadas em campo durante o período de realização dos estudos. Contudo, devido a frequentes modificações provocadas no meio ambiente, seja pela ação antrópica ou por ações naturais, e pelo constante processo de expansão e transformação do espaço urbano, os resultados aqui obtidos podem sofrer modificações ao longo do tempo.

A metodologia adotada recomenda a divisão das regiões de estudo (aqui chamadas de setores), em sub-regiões (subsetores), possibilitando assim que as análises sejam feitas em áreas que apresentem condições homogêneas. Este procedimento permite a obtenção de avaliações mais refinadas e com maior representatividade das áreas.

Para os 11 setores de risco estudados nesta pesquisa, foram realizadas subdivisões das áreas, obtendo-se assim 70 subsetores. A Figura 7.1 apresenta o mapa de localização dos setores de estudo dentro do centro urbano de Moreno. A Tabela 7.1 apresenta a quantidade de setores e seus subsetores, a área e o processo atuante em cada setor. Ao longo deste capítulo são apresentados os dados obtidos das avaliações dos subsetores estudados.

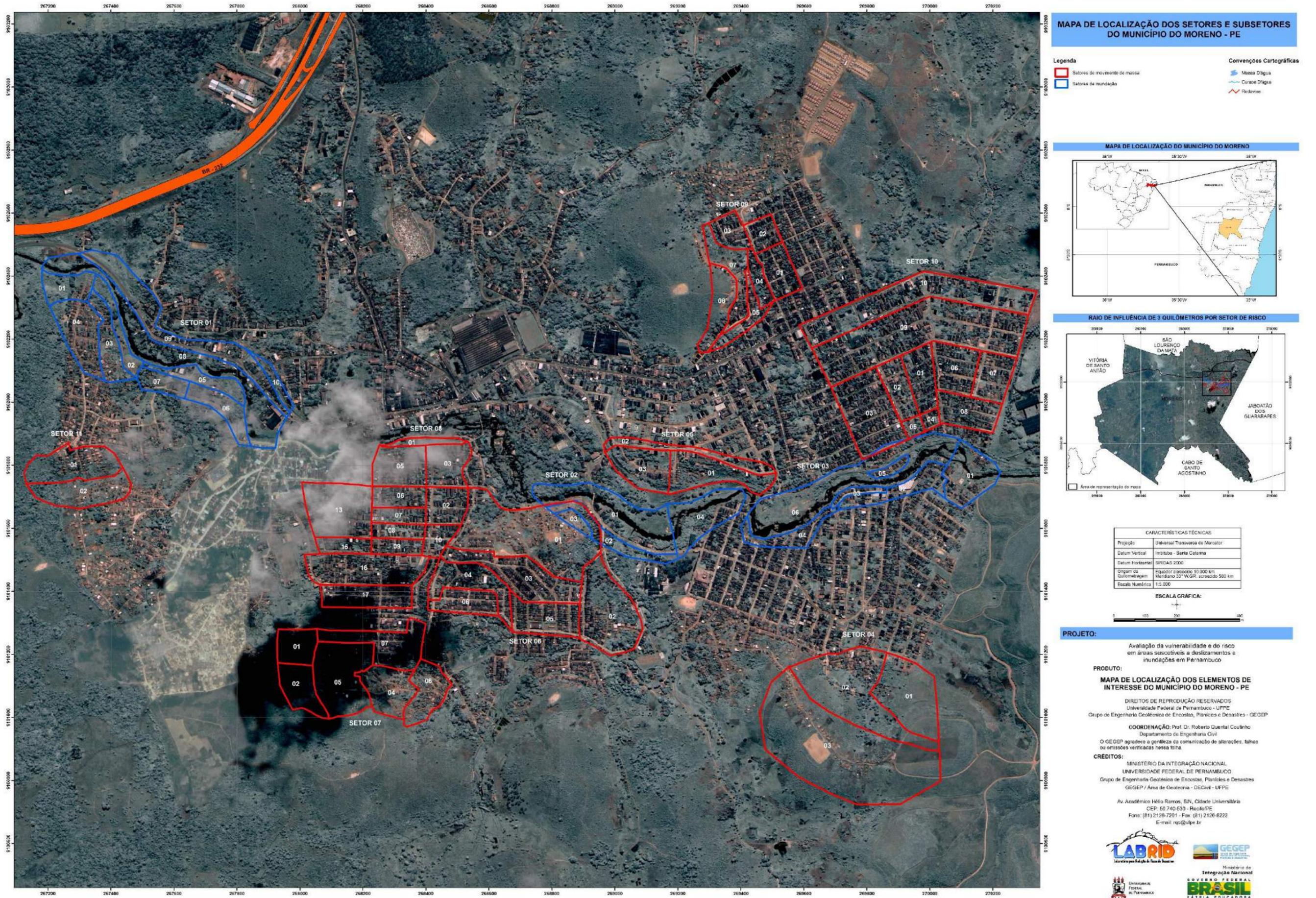


Tabela 7.1 – Informações dos setores estudados e seus processos atuantes.

| SETOR DE RISCO | QUANTIDADE DE SUBSETORES | ÁREA (ha) | PROCESSO ATUANTE |
|----------------|--------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 01 | 10 | 21,38 | Inundação |
| 02 | 4 | 9,25 | Inundação |
| 03 | 6 | 12,93 | Inundação |
| 04 | 3 | 22,66 | Deslizamento, Queda de Bloco e Erosão |
| 05 | 3 | 6,25 | Deslizamento e Erosão |
| 06 | 6 | 22,09 | Deslizamento e Erosão |
| 07 | 6 | 13,32 | Deslizamento e Erosão |
| 08 | 13 | 20,42 | Deslizamento e Erosão |
| 09 | 7 | 8,82 | Deslizamento e Erosão |
| 10 | 10 | 14,39 | Deslizamento, Queda de Bloco e Erosão |
| 11 | 2 | 5,20 | Deslizamento, Queda de Bloco e Erosão |

Fonte: Coutinho (2015)

Foi verificada nas áreas de estudo através de ocorrências registradas e pela própria observação, a predisposição de ocorrer processos relacionados a movimento de massa (deslizamentos, erosão, queda de bloco) e inundação. Os deslizamentos observados foram pontuais, normalmente taludes de cortes que deslizavam atrás de moradias, não foi registrado no município evento de grande proporção. Os processos erosivos identificados se resumiram a erosão laminar, com maior frequência e alguns sulcos. Foi observada em alguns setores a tendência a ocorrer queda de bloco, apesar de não ter registro desse processo na área. As inundações são um dos fenômenos que mais preocupam. A cidade já vivenciou eventos de grande magnitude, onde a força e a velocidade da água destruíram casas, pontes e deixou centenas de desabrigados. As Figuras 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5 ilustram os principais processos atuantes nas áreas estudadas.

Figuras 7.2 e 7.3 – Ilustram processos relacionados a escorregamentos e erosão nos subsetores.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

Figuras 7.4 e 7.5 – Ilustra a localização de blocos próximos às moradias e processo de inundação.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

No campo foram realizadas entrevistas em, pelo menos, 25% das casas existentes nos setores de estudo, totalizando assim 683 casas entrevistadas. Estas entrevistas aos moradores foram destinadas para obtenção de informações da vulnerabilidade físico-ambiental; e socioeconômica cultural. Para cada casa entrevistada, foram registradas as coordenadas espaciais e fotografadas suas principais características importantes para a análise.

Vale destacar que a definição da adoção de amostragem parcial (25%) para entrevista das casas foi baseada na experiência adquirida no mapeamento de áreas de risco no Município de Ipojuca, realizado anteriormente pela equipe do GEGEP. Henrique (2014), ao realizar tal mapeamento de risco, teve como meta entrevistar todas as casas existentes nos setores de estudo, buscando assim uma amostragem total. No entanto, o autor vivenciou a dificuldade de atingir tal objetivo e descreveu que a abordagem casa por casa é inviável, por vários motivos principalmente devido a: parte dos moradores das áreas não estarem presentes no momento da entrevista; é necessária uma grande equipe para cobrir toda área; a pesquisa de campo demanda muito tempo, o mapeamento se torna muito caro. Onde o mesmo concluiu que torna a operacionalidade desta metodologia inviável.

Os dados da suscetibilidade foram obtidos através da observação dos setores e preenchimento dos formulários por estudantes de pós-graduação à frente do mapeamento das áreas. A cartografia local foi importante para a obtenção de parâmetros de suscetibilidade.

A escala de trabalho para o desenvolvimento das atividades em campo foi 1:2000 e a de representação gráfica para gerar os mapas foi 1:5000.

Conforme citado anteriormente, afim de avaliar a metodologia, foi realizado o mapeamento para uma área adjacente as indicadas pela CPRM. Escolheu-se o setor 10 para expandir, assim foram adicionadas as áreas 9 e 10.

Figura 7.6 – Área expandida do setor 10 para avaliação da metodologia.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

É escasso o número de trabalhos no município sobre a temática de risco, o mesmo só consta com as setorizações de risco alto e muito alto realizada pela CPRM e não possui Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR). O que faz de certa forma, com que essa pesquisa seja precursora sobre o tema na região.

7.2 - ANÁLISES DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade a desastres possui caráter multifacetado, abrangendo diferentes dimensões, a partir das quais se podem identificar condições de vulnerabilidade dos indivíduos, famílias ou comunidades (CEPED UFSC, 2014). A metodologia empregada para avaliação da vulnerabilidade dos processos se divide em duas dimensões: a físico-ambiental e a socioeconômica cultural, compostas pelo levantamento de dados sobre o estado das edificações,

a infraestrutura local e os aspectos sociais dos moradores e das comunidades. Foram gerados, no total, 15 indicadores para compor o grau da vulnerabilidade, com pesos atribuídos de acordo com a relevância de cada fator e sua expressão no conjunto.

7.2.1 - Dimensão físico-ambiental

Dos 15 indicadores da vulnerabilidade, 6 compõem a dimensão físico-ambiental, e estão relacionados às características das edificações e padrão construtivo, quantidade de edificações em cada área, tipos e qualidade dos acessos, proximidade ao agente desencadeador do evento, existência de possíveis danos nas edificações e a presença de infraestrutura básica oferecida no local. Nesta dimensão procura-se analisar a vulnerabilidade dos elementos expostos (estruturas) a serem afetados em caso de desastre.

A Tabela 7.2 apresenta os indicadores utilizados para a obtenção do grau de vulnerabilidade desta dimensão, bem como o peso atribuído a cada um deles.

Tabela 7.2 – Vulnerabilidade físico-ambiental: indicadores e pesos atribuídos.

| INDICADOR | PESO ATRIBUÍDO |
|---|-----------------------|
| Quantidade de edificações; | 0,20 |
| Características da edificação; | 0,20 |
| Características do acesso à edificação; | 0,20 |
| Características do acesso ao subsetor; | 0,05 |
| Localização da edificação; | 0,20 |
| Infraestrutura básica: abastecimento de água, coleta de lixo, esgotamento sanitário e fornecimento de energia elétrica. | 0,15 |

Fonte: Coutinho (2015).

Para compor o grau da dimensão, cada indicador é formado por subindicadores, conforme o exemplo apresentado no Capítulo 5 (Tabela 5.1), da mesma forma, se encontra neste capítulo as equações para a obtenção do grau de vulnerabilidade na dimensão físico-ambiental (GVD_{FA}). Os resultados obtidos de cada um dos subsetores estão apresentados na Tabela 7.3 de acordo com os processos atuantes.

Tabela 7.3 – Grau de vulnerabilidade da dimensão físico-ambiental por subsetor (COUTINHO, 2015).

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE VULNERABILIDADE FÍSICO-AMBIENTAL INUNDAÇÃO | | SETOR | SUBSETOR | GRAU DE VULNERABILIDADE FÍSICO-AMBIENTAL MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|-------|-------|----------|---|-------|
| 01 | 0101 | 1,90 | Médio | 04 | 0401 | 2,18 | Médio |
| | 0102 | 1,70 | Baixo | | 0402 | 2,10 | Médio |
| | 0103 | 2,02 | Médio | | 0403 | 1,99 | Médio |
| | 0104 | 2,03 | Médio | 05 | 0501 | 2,52 | Alto |
| | 0105 | 1,55 | Baixo | | 0502 | 1,45 | Baixo |
| | 0106 | 1,56 | Baixo | | 0503 | 2,61 | Alto |
| | 0107 | 1,69 | Baixo | 06 | 0601 | 2,63 | Alto |
| | 0108 | 1,57 | Baixo | | 0602 | 2,77 | Alto |
| | 0109 | 1,71 | Baixo | | 0603 | 2,27 | Médio |
| | 0110 | 1,45 | Baixo | | 0604 | 2,66 | Alto |
| 02 | 0201 | 1,56 | Baixo | | 0605 | 1,55 | Baixo |
| | 0202 | 1,72 | Baixo | | 0606 | 1,84 | Médio |
| | 0203 | 1,47 | Baixo | 07 | 0701 | 2,52 | Alto |
| | 0204 | 1,40 | Baixo | | 0702 | 2,60 | Alto |
| 03 | 0301 | 1,60 | Baixo | | 0704 | 2,71 | Alto |
| | 0302 | 1,59 | Baixo | | 0705 | 1,81 | Médio |
| | 0303 | 1,64 | Baixo | | 0706 | 1,82 | Médio |
| | 0304 | 1,81 | Médio | | 0707 | 1,95 | Médio |
| | 0305 | 1,88 | Médio | | 08 | 0801 | 1,29 |
| | 0306 | 2,01 | Médio | 0802 | | 2,05 | Médio |
| | | | 0803 | 1,96 | | Médio | |
| | | | 0805 | 1,72 | | Médio | |
| | | | 0806 | 2,17 | | Médio | |
| | | | 0807 | 2,31 | | Médio | |
| | | | 0808 | 2,44 | | Médio | |
| | | | 0809 | 2,10 | | Médio | |
| | | | 0810 | 2,35 | | Médio | |
| | | | 0813 | 2,78 | | Alto | |
| | | | 0815 | 2,80 | | Alto | |
| | | | 0816 | 2,60 | | Alto | |
| | | | 0817 | 1,49 | | Baixo | |
| | | | 0901 | 2,21 | | Médio | |
| | | | 0902 | 1,45 | | Baixo | |
| | | | 0903 | 1,56 | | Baixo | |
| | | | 0904 | 2,63 | | Alto | |
| | | | 0905 | 1,44 | Baixo | | |
| | | | 0906 | 2,37 | Médio | | |
| | | | 0907 | 2,61 | Alto | | |
| | | | 1001 | 2,79 | Alto | | |
| | | | 1002 | 2,41 | Médio | | |
| | | | 1003 | 1,55 | Baixo | | |
| | | | 1004 | 2,71 | Alto | | |
| | | | 1005 | 2,15 | Alto | | |
| | | | 1006 | 1,92 | Médio | | |
| | | | 1007 | 2,54 | Alto | | |
| | | | 1008 | 2,86 | Alto | | |
| | | | 1009 | 1,60 | Médio | | |
| | | | 1010 | 1,33 | Baixo | | |
| | | | 11 | 1101 | 2,64 | Alto | |
| | | | | 1102 | 2,98 | Alto | |

Nota: Para facilitar o entendimento do trabalho, os 11 setores de risco estudados foram divididos em 70 subsetores (20 são de inundação e 50 de movimento e transporte de massa). De maneira geral, os setores foram numerados de 1 a 11 e suas subdivisões obedecem a seguinte nomenclatura, exemplo: Setor 04 se subdivide em três subsetores, nomeados como 0401, 0402 e 0403.

Fonte: Coutinho (2015).

A partir da análise foi possível constatar que o grau de vulnerabilidade da dimensão físico-ambiental nas áreas passíveis a movimento de massa, os resultados variaram entre médio (21 subsetores), alto (20 subsetores) e baixo (9 subsetores). Essas áreas apresentam padrão das edificações que, em sua maioria, são construídas de material resistente, e possuem acesso à infraestrutura básica (água, energia e coleta de lixo). Porém, esses subsetores estão localizados principalmente em regiões densamente povoadas, acarretando em uma grande quantidade de edificações, bem como, a localização das mesmas, são em grande parte nas encostas, com acessos às moradias e aos subsetores precários, assim, a soma desses fatores contribuem para uma vulnerabilidade físico-ambiental oscilando, sobretudo entre média e alta.

Por outro lado, os subsetores de inundação apresentaram em sua maioria, um grau baixo (14 subsetores) e alguns médios (6 subsetores), se situam em locais centrais da cidade, em áreas planas, consolidadas e que apresentam comércios, órgãos públicos, escolas, etc. Os padrões das edificações, a localização das mesmas (com exceção das construídas nas margens dos rios e córregos) e por possuir acessos considerados entre bons e regulares tanto para a edificação quanto para o subsetor contribuíram para esses resultados.

A seguir apresenta-se um breve comentário e registros fotográficos das características encontradas em campo para cada um dos indicadores que compõem o grau da dimensão, e como essas informações contribuem para a gestão municipal do risco.

I. Quantidade de edificações

Figuras 7.7 e 7.8 – Grau de vulnerabilidade muito alto (subsetor 0816) e baixo (subsetor 0303) para o indicador quantidade de edificações.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Quanto maior o número de casas, estabelecimentos comerciais, prédios, escolas, etc., dentro de um setor de risco, maior será o fluxo de pessoas que habitam ou frequentam essa região. Conseqüentemente maior será a quantidade de indivíduos e estruturas propensas a serem atingidas em caso de desastre.

Analisando o indicador quantidade de edificações, 11 subsetores demonstraram grau muito alto, 11 altos, 23 médios e 25 baixos. As Figuras 7.7 e 7.8 apresentam exemplos de subsetores e seus respectivos graus para o referido indicador. Importante salientar que os subsetores que variaram entre alto e muito alto, todos estão presentes dentro de regiões suscetíveis a movimento de massa. Dos 25 que apresentaram grau baixo, se encaixam alguns subsetores de inundação e outros se localizam em áreas de morro dentro da cidade que estão sendo ocupadas gradualmente, como vem ocorrendo no setor 4 (Figura 7.9), o que justifica dentro desses subsetores o número de edificações ainda ser considerado baixo.

Informações como estas, pode auxiliar o município na tomada de decisões quanto a áreas prioritárias de intervenção.

Figuras 7.9 – Ocupação gradual da encosta do setor 4 (subsetor 0401).



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

II. Características da edificação

Neste indicador são observados aspectos relacionados ao material de parede, piso e telhado das construções, bem como, se ela é conjugada ou isolada e se apresenta sinais de danos.

O material construtivo da edificação indica resistência ou fragilidade diante de possíveis processos, por exemplo, casas de alvenaria apresentam maior resistência ao impacto que casas construídas em taipa. A proximidade entre construções pode potencializar os danos, exemplo, casas conjugadas. Sinais como fissuras, rachaduras, degraus de abatimento nas edificações ou

no seu entorno podem ser indicativos de que o terreno estar se movimentando e que a estrutura foi comprometida.

Dessa forma, este indicador comportou-se da seguinte maneira: 67 subsetores com grau de vulnerabilidade baixo e 3 com grau médio. Quase que a totalidade das casas existentes nos setores estudados, apresenta o uso de materiais construtivos resistentes na sua estrutura, refletindo assim no resultado obtido na maioria dos subsetores. Poucas edificações apresentam danos estruturais, da mesma forma, foram localizadas pouquíssimas moradias executadas em material pouco resistente. Para a análise do subsetor como um todo a parcela destas edificações não teve representatividade.

Figuras 7.10, 7.11 e 7.12 – Casa de taipa localizada no subsetor 1004 e casas de alvenaria representando o padrão construtivo presente na maioria dos subsetores.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Figuras 7.13, 7.14 e 7.15 - Sinais de danos identificados em casas de alguns subsetores.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

III. Características do acesso à edificação

A mobilidade dentro de áreas de risco é um fator relevante a ser observado, a existência de acessos e as condições dos mesmos devem ser consideradas. Bons acessos permitem uma rápida evacuação do local e pode salvar vidas. Este indicador retrata o tipo de acesso às edificações dos subsetores, bem como a sua qualidade.

É frequente se deparar com ruas sem pavimento, rampas e escadarias precárias, onde a falta de pavimento, limpeza e manutenção das mesmas dificulta o deslocamento, principalmente de idosos e pessoas com necessidades especiais. Não é raro encontrar acessos improvisados, muitas vezes executados pelos próprios moradores. Os resultados deste indicador foram os seguintes: 14 subsetores apresentam grau de vulnerabilidade baixo quanto às características de acesso à edificação, 31 médios, 19 altos e 6 muito alto. A grande quantidade de subsetores com grau médio atribuiu-se ao fato de muitos deles serem mesclados com regiões onde acessos são bons a regulares e regiões onde os acessos são precários, assim essa composição da área contribuiu para esse resultado.

Figuras 7.16, 7.17, 7.18 e 7.19 – Acessos precários localizados nos subsetores 0601, 1002, 1004 e acesso regular no 0813.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

IV. Infraestrutura Básica

Esse indicador avalia o fornecimento, a regularidade e a abrangência dos serviços públicos essenciais, tais como: abastecimento de água, energia elétrica, coleta de lixo e sistema de esgotamento sanitário. Dos 70 subsetores estudados quase que a totalidade (63 subsetores) obtiveram grau de vulnerabilidade baixo para esse indicador, com exceção de 6 médios e 1 alto. Praticamente todos os subsetores apresentam abastecimento de água e energia elétrica regularmente, assim como coleta de lixo diária. Porém em alguns locais a população ignora este serviço e acaba lançando o lixo diretamente na encosta ou nos corpos hídricos. Apesar de o resultado ter apontado uma baixa vulnerabilidade, principalmente devido aos aspectos mencionados a cima, um ponto de ressalva é em relação à rede geral de esgoto do município, um tanto quanto incipiente, poucos subsetores são interligados a ela. A maioria das edificações destinam seus dejetos para fossas rústicas ou sépticas. Porém foi levantado que do universo de edificações entrevistadas, 14,93% lançam diretamente em rios e córregos ou corre a céu aberto. Importante salientar que a encosta recebendo sobrecarga de lixo e entulhos (Figura 7.20), bem como água servida lançada diretamente (Figura 7.21) contribui para processos de instabilidade, da mesma forma, resíduos lançados nos corpos hídricos, favorece e agrava as inundações.

Figura 7.20 e 7.21– Lançamento de lixo (subsetor 1008) e água servida (subsetor 1001) na encosta.



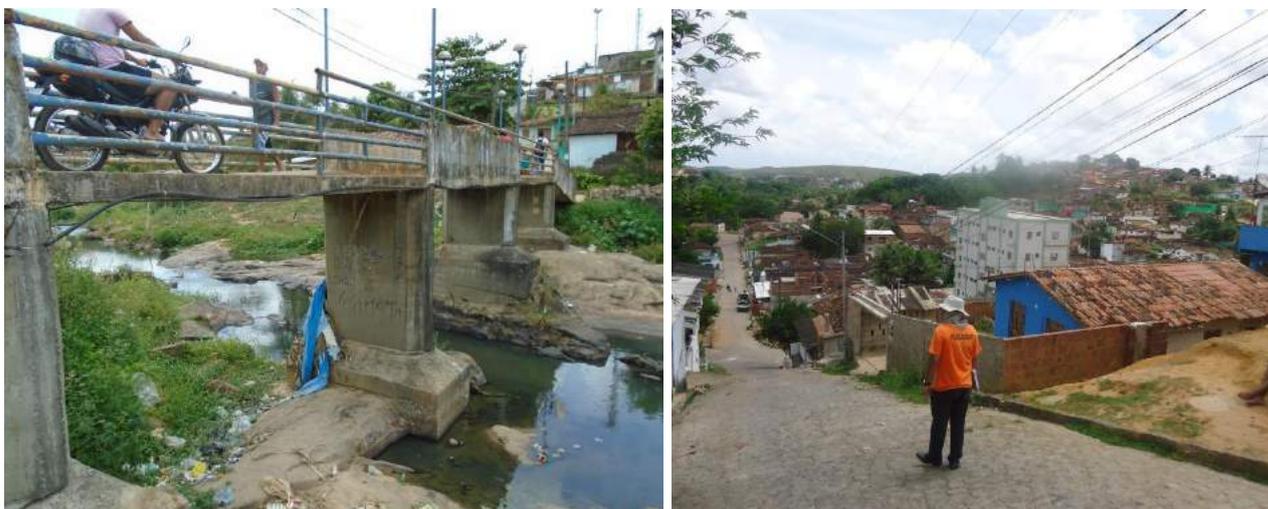
Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

V. Características do acesso ao subsetor

Ruas, pontes, estradas, escadarias, rampas entre outras vias, constituem as áreas adjacentes aos subsetores, a qualidade e a capacidade de fluxo de pessoas e automóveis nesses acessos permitem, por exemplo, a aproximação de veículos de médio a grande porte, para prestar socorro à possíveis vítimas. O número de acessos também foi levado em consideração,

quanto maior a quantidade de rotas que levem ao subsetor, mais fácil e ágil é a evacuação da área, bem como, a rapidez para acessar a mesma. O grau de vulnerabilidade para características do acesso ao subsetor oscilou entre médio e baixo. O município fica as margens da BR232, apresentando avenidas, ruas e rampas principais pavimentadas, conta com muitas pontes interligando áreas da cidade. De maneira geral, apresenta um bom número de acessos aos subsetores, às observações a serem feitas são: as pontes precisam ser um pouco mais largas em alguns pontos da cidade, e muitos desses acessos precisam de manutenção e reparos, pois em vários locais as condições são precárias.

Figuras 7.22 e 7.23 – Exemplos de vias de acesso aos subsetores.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

VI. Localização da edificação

Este indicador revela a vulnerabilidade das edificações de acordo com sua localização geral na encosta (topo, encosta ou base) e sua localização pontual, associada à posição em que foi construída e sua proximidade ao topo e pé do talude/encosta. No caso dos setores de inundação, leva em consideração à distância ao curso d'água.

O comportamento deste fator revelou os seguintes índices: 10 subsetores apresentam grau de vulnerabilidade baixo em relação à localização da edificação, 27 médios, 11 altos e 18 muito altos. A observação de indicadores como esses permitem a defesa civil tomada de decisão em relação à remoção de famílias em casos críticos e até mesmo demolição em casos extremos. Exemplos de grau de vulnerabilidade muito alto estão apresentados nas Figuras 7.24 e 7.25, em que edificações são construídas muito próximas ao pé do talude e ao curso d'água.

Figuras 7.24 e 7.25 - Edificações próximas ao pé do talude no subsetor 0704 e ao curso d' água no subsetor 0203.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

7.2.2 - Dimensão socioeconômica e cultural

Na dimensão socioeconômica e cultura a vulnerabilidade é avaliada através de indicadores e subindicadores que refletem a condição social do indivíduo entrevistado e das pessoas com as qual ele divide a moradia (geralmente sua família), com foco em parâmetros voltados às situações de exposição ao risco. São levantados dados como: quantidade de moradores (com ênfase em número de idosos, crianças, portadores de necessidades especiais), renda domiciliar *per capita*, grau de alfabetização, condições de mobilidade dos indivíduos, acesso aos meios de comunicação, problemas sociais existentes na comunidade, existência e atuação de liderança comunitária, além da identificação e espacialização de todas as estruturas capazes de dar suporte ao município em caso de desastres, podendo servir de abrigo e apoio a tomada de decisão, sendo denominados neste trabalho como elementos de interesse.

Da mesma forma que na dimensão físico-ambiental, cada indicador é composto por subindicadores que compõem o grau da dimensão. Portanto, a expressão matemática aplicada para a obtenção do grau de vulnerabilidade de cada indicador é a mesma utilizada na dimensão físico-ambiental. Para a obtenção do grau de vulnerabilidade da dimensão socioeconômica e cultural. A metodologia utilizada relacionou os indicadores apresentados na Tabela 7.4, com seus respectivos pesos atribuídos.

Tabela 7.4 – Vulnerabilidade socioeconômica e cultural: indicadores e pesos atribuídos.

| INDICADOR | PESO ATRIBUÍDO |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Densidade demográfica (hab/ha) | 0,15 |
| Renda domiciliar | 0,08 |
| Capacidade de mobilidade / autonomia | 0,08 |
| Grau de escolaridade | 0,15 |
| Acesso aos meios de comunicação | 0,15 |
| Problemas sociais | 0,08 |
| Distância dos elementos de interesse | 0,08 |
| Organização e liderança comunitária | 0,08 |
| Treinamento de moradores | 0,15 |

Fonte: Coutinho (2015).

Vale enfatizar que nesta dimensão as respostas das entrevistas não estão relacionadas apenas ao respondente, mas sim a todos os membros que habitam a edificação, construindo assim um panorama onde direta e indiretamente, participaram da pesquisa 2.222 pessoas.

Os resultados obtidos para o grau de vulnerabilidade na dimensão socioeconômica e cultural (GVD_{SE}) de cada um dos subsetores estão apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Grau de vulnerabilidade da dimensão socioeconômica e cultural por subsetor.

| SETOR | SUBSETOR | VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA CULTURAL INUNDAÇÃO | | SETOR | SUBSETOR | VULNERABILIDADE SÓCIOECONOMICA CULTURAL MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|---|-------|-------|----------|--|-------|
| 01 | 0101 | 2,03 | Médio | 04 | 0401 | 2,43 | Médio |
| | 0102 | 2,45 | Médio | | 0402 | 2,34 | Médio |
| | 0103 | 2,06 | Médio | | 0403 | 2,41 | Médio |
| | 0104 | 2,13 | Médio | 05 | 0501 | 2,60 | Alto |
| | 0105 | 2,47 | Médio | | 0502 | 2,36 | Médio |
| | 0106 | 2,29 | Médio | | 0503 | 2,74 | Alto |
| | 0107 | 2,05 | Médio | 06 | 0601 | 2,62 | Alto |
| | 0108 | 2,20 | Médio | | 0602 | 2,73 | Alto |
| | 0109 | 2,29 | Médio | | 0603 | 2,42 | Médio |
| | 0110 | 2,45 | Médio | | 0604 | 2,83 | Alto |
| 02 | 0201 | 2,18 | Médio | | 0605 | 2,49 | Médio |
| | 0202 | 1,89 | Médio | | 0606 | 2,22 | Médio |
| | 0203 | 2,14 | Médio | 07 | 0701 | 2,59 | Alto |
| | 0204 | 2,23 | Médio | | 0702 | 2,71 | Alto |
| 03 | 0301 | 2,05 | Médio | | 0704 | 2,70 | Alto |
| | 0302 | 2,49 | Médio | | 0705 | 2,40 | Médio |
| | 0303 | 2,09 | Médio | | 0706 | 2,47 | Médio |
| | 0304 | 2,05 | Médio | | 0707 | 1,65 | Baixo |
| | 0305 | 2,39 | Médio | | 08 | 0801 | 1,65 |
| | 0306 | 1,81 | Médio | 0802 | | 2,41 | Médio |
| | | | 0803 | 2,44 | | Médio | |
| | | | 0805 | 2,32 | | Médio | |
| | | | 0806 | 2,48 | | Médio | |
| | | | 0807 | 1,67 | | Baixo | |
| | | | 0808 | 1,32 | | Baixo | |
| | | | 0809 | 2,37 | | Médio | |
| | | | 0810 | 2,48 | | Médio | |
| | | | 0813 | 2,54 | | Alto | |
| | | | 0815 | 2,59 | Alto | | |
| | | | 0816 | 2,73 | Alto | | |
| | | | 0817 | 2,48 | Médio | | |
| | | | 09 | 0901 | 2,37 | Médio | |
| | | | | 0902 | 2,22 | Médio | |
| | | | | 0903 | 2,48 | Médio | |
| | | | | 0904 | 2,85 | Alto | |
| | | | | 0905 | 2,44 | Médio | |
| | | | | 0906 | 2,45 | Médio | |
| | | | | 0907 | 2,57 | Alto | |
| | | | 10 | 1001 | 2,72 | Alto | |
| | | | | 1002 | 2,46 | Médio | |
| | | | | 1003 | 2,42 | Médio | |
| | | | | 1004 | 2,61 | Alto | |
| | | | | 1005 | 2,21 | Médio | |
| | | | | 1006 | 2,43 | Médio | |
| | | | | 1007 | 2,80 | Alto | |
| | | | | 1008 | 2,72 | Alto | |
| | | | | 1009 | 2,42 | Médio | |
| | | | | 1010 | 1,43 | Baixo | |
| | | | 11 | 1101 | 2,86 | Alto | |
| | | | | 1102 | 2,71 | Alto | |

Fonte: Coutinho (2015).

Dos 70 subsetores analisados 5 apresentaram grau baixo de vulnerabilidade na dimensão socioeconômica e cultural, 46 médios e 19 altos. De maneira geral, foi observado que os níveis de escolaridade são baixos, o número de pessoas que possuem veículo automotivo é pequeno dentro das áreas estudadas, problemas sociais como desemprego e violência são os que mais preocupam as comunidades. A totalidade das moradias possui acesso aos meios de comunicação. Como o município de Moreno tem áreas de encostas que vão das regiões mais centrais e desenvolvidas até as mais periféricas, associado ao fato do rio corta toda a cidade, os setores de riscos encontram-se distribuídos em todo o perímetro urbano, sendo possível notar contrastes sociais, que influenciaram nos graus da vulnerabilidade socioeconômica e cultural. A seguir será comentado cada indicador, seus respectivos resultados e como repercute no grau da dimensão.

I. Problemas sociais

Este indicador aborda perguntas relacionadas à existência e incidência de drogas, prostituição, desemprego e violência na comunidade. Entende-se que quanto maior o impacto dos problemas sociais sobre os habitantes, maior será a fragilidade das relações interpessoais e isso influencia na vulnerabilidade.

De acordo às entrevistas realizadas, 13 subsetores apresentam grau de vulnerabilidade médio em relação ao indicador avaliado, 28 altos e 29 muito alto. Observou-se que entre os problemas sociais investigados, em quase totalidade dos subsetores, desemprego e violência são apontados como os principais problemas sociais enfrentados pelas comunidades. Drogas também são citadas, mas com menor ênfase, enquanto que prostituição foi sempre considerada baixa ou até mesmo inexistente em algumas entrevistas.

Esse é um indicador delicado e difícil de obter respostas em campo. Pois, do ponto de vista dos entrevistados: alguns se negavam a responder, outros distorciam as respostas, muitos se mostravam temerosos. Essa mesma dificuldade foi constatada por Henrique (2014) no mapeamento realizado em Ipojuca.

II. Densidade demográfica

Esse indicador contabiliza a quantidade de moradores do domicílio. Quanto maior for o número de pessoas expostas ao risco, maior é a probabilidade de mortos e feridos em caso de acidente. O conhecimento desse indicador é uma ferramenta importante para que a gestão municipal possa elencar ações e prioridades. Com relação à densidade de moradores em áreas de risco, foi concluído que 17 dos subsetores possuem grau de vulnerabilidade baixo, 28

médios, 14 altos e 11 muito alto, com resultados que coincidem aos obtidos no indicador de “Quantidade de edificações” presente na dimensão físico-ambiental. Os subsetores onde foram identificadas as maiores densidades, foram nas áreas sujeitas a movimento de massa.

III. Renda domiciliar

As informações a respeito deste indicador não foram coletadas em campo por se tratar de um tema delicado e exigir uma abordagem especial. A renda domiciliar foi retirada da plataforma do IBGE de acordo com os setores censitários. Os resultados de grau de vulnerabilidade encontrados para este indicador foram: 6 subsetores baixo, 27 médios e 19 altos e 18 muito alto. O grau de vulnerabilidade médio encontrado para uma parcela significativa dos subsetores evidencia um contexto que havia sido observado em campo, apesar de muitas edificações estarem dentro das consideradas áreas de risco, isso não significa que são setores exclusivamente pobres. O mesmo é reafirmado por Saito (2011) segundo ela, a vulnerabilidade não é uma tautologia da pobreza. Essa noção é amplamente combatida por diversos autores (CARDONA, 2003; BLAIKIE et al, 2004; BLAIKIE et al, 1993; HAMZA e ZETTER, 1998; CANON, 2002; BANKOFF et al, 2003; WILLISON e WILLISON, 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2006; GLADE e CROZIER, 2005, LEON, 2005). A pobreza e a vulnerabilidade são condições sociais que se reforçam mutuamente. Parcela significativa da população é vulnerável, apesar de não ser considerada pobre de acordo com os critérios estabelecidos pela linha da pobreza.

IV. Capacidade de mobilidade e autonomia

Para este indicador foi questionado se algum dos membros do domicílio possuía veículo automotivo (carro, moto, caminhão, etc.) bem como, se na moradia havia idosos, crianças (de 0 a 10 anos) e portadores de necessidades especiais. A presença de automóveis está estreitamente ligada, à questão da locomoção ágil em caso de acidente. A preocupação em levantar o número de idosos, crianças e portadores de deficiência, advém do fato, que segundo a Lei 12.608/12 esse grupo se encaixa entre os considerados vulneráveis, em caso de desastres. Assim a mobilidade e autonomia desses indivíduos são aspectos a serem considerados nos subsetores estudados.

Em relação aos resultados obtidos, apenas 1 subsetor apresentou grau de vulnerabilidade baixo para esse indicador, 3 médios, 3 altos e 63 muito alto. Demonstrando que poucos são os que possuem automóveis e esse aspecto reflete em dificuldade de locomoção entre os próprios moradores em caso de emergência. Em relação ao grupo de indivíduos mais

vulneráveis eles são muitos e estão bem distribuídos em vários subsetores, porém o maior número levantado é de crianças, seguido de idosos e por fim, portadores de deficiência. Esse é um aspecto a ser relevado, pois segundo a Secretária de Direitos Humanos da Presidência:

No caso de um planejamento de ações de proteção humana, crianças e adolescentes, pessoas com deficiência e pessoas idosas devem ter prioridade. Isso porque tais grupos são especialmente vulneráveis em situações de riscos e desastres, não apenas pelas consequências imediatas (riscos de morte, maior exposição a doenças e violência), mas também em curto, médio e longo prazo, com relação ao seu desenvolvimento futuro (atraso escolar, sofrimento psíquico, reabilitação motora, entre outros), no caso das crianças e adolescentes e pelos efeitos pós-traumáticos (reabilitação motora, sofrimento psíquico, fraturas, entre outros), no caso das pessoas com deficiência e idosas. Essa vulnerabilidade é tanto maior quanto menor for a idade das crianças, devido às diferenças no senso de percepção de risco, na capacidade motora, na utilização da visão periférica, entre outros, e quanto maior forem as debilidades, física e mental, causadas ou agravadas pelo envelhecimento, nas pessoas idosas (SDH/PR, 20013).

V. Acesso aos meios de comunicação

Os meios de comunicação se tornaram importantes ferramentas de alerta, com capacidade de salvar vidas. Este indicador faz um levantamento do número de aparelhos de televisão, rádio, celulares e se as moradias possuem acesso à internet, seja ela, móvel ou fixa. O resultado do grau da vulnerabilidade é baixo em 100% dos subsetores e demonstra como cada dia mais as pessoas estão ligadas aos meios de comunicação. Isto significa que em todas as casas entrevistadas existia pelo menos um desses aparelhos listados. Assim, a transmissão de notícias é mais rápida e abrangente principalmente em situações de emergência, se tornando um grande aliado da gestão municipal. Um aparelho que merece destaque são os celulares, em muitas das edificações entrevistadas existiam mais celulares que pessoas, geralmente conectados à internet o que permite receber informações muitas vezes em tempo real.

VI. Grau de escolaridade

O indicador referente ao grau de escolaridade comportou-se da seguinte maneira: 31 subsetores apresentaram vulnerabilidade muito alta, 33 altas e 6 médias. Revelando que a educação é um aspecto de fragilidade na maioria dos subsetores estudados. De acordo com Licco (2013) a educação é um importante fator a influenciar nos impactos da exposição a perigos. Com a educação é possível aprender a evitar e/ou reduzir muitos impactos. Quando as

populações são alfabetizadas, mensagens escritas na forma de cartazes, alertas, placas de aviso podem ser usadas para informar sobre os perigos e procedimentos a serem adotados em condição de desastre. Algumas famílias tentam reduzir suas perdas acompanhando as previsões climáticas e protegendo objetos mais valiosos. Infelizmente, nem todos que tem acesso à informação tem a capacidade de processá-la adequadamente, o que faz com que os prejuízos com eventos desastrosos continuem elevados. Para ter um parâmetro da situação de escolaridade dentro dos subsetores, 26,2 % dos moradores são analfabetos, 48,24% estudaram até o ensino fundamental, 22,41% alcançaram o nível médio e apenas 3,13% possuem entre grau técnico a nível superior.

VII. Organização e Liderança comunitária

A existência de liderança atuante na comunidade e que realize trabalho integrado com as instituições de apoio em situações de risco e de ocorrência de desastres, pode contribuir para atenuar as consequências dos desastres e reduzir a vulnerabilidade dos atingidos. Este indicador foi observado em todos os subsetores, porém as comunidades, em sua maioria, afirmam desconhecer a liderança e nos casos em que a conhecem não sabem quais os trabalhos desenvolvidos. Em todos os subsetores este indicador obteve vulnerabilidade muito alta.

VIII. Treinamento de moradores

O treinamento para enfrentar situações de risco e desastres reduz a vulnerabilidade das pessoas, podendo evitar os acidentes ou atenuar-lhes as consequências. Em todos os subsetores obteve-se vulnerabilidade muito alta em relação a este indicador, de todas as entrevistas somente uma pessoa informou ter recebido treinamento para enfrentar situações de risco

IX. Distância dos elementos de interesse

Foram identificadas e espacializadas as estruturas capazes de dar suporte ao município em caso de desastres, podendo servir de abrigo e apoio a tomada de decisão, sendo localizadas dentro dos setores de risco e/ou no seu entorno. Por entorno, entende-se a identificação dos elementos que estejam localizados mais próximos ao setor de risco investigado, distanciando-se em geral de sua fronteira em até 3 km.

Foram coletados dados da condição física de cada estrutura, a distância dela em relação aos subsetores, sua capacidade de atendimento ou de comportar pessoas, tal como, se é de domínio público ou privado. No total foram apontados 103 elementos que podem ser utilizados no apoio a desastres em Moreno, entre espaços educacionais, religiosos, postos de saúde, hospitais, clubes e associações, segurança e socorro e órgãos públicos. Alguns apresentaram

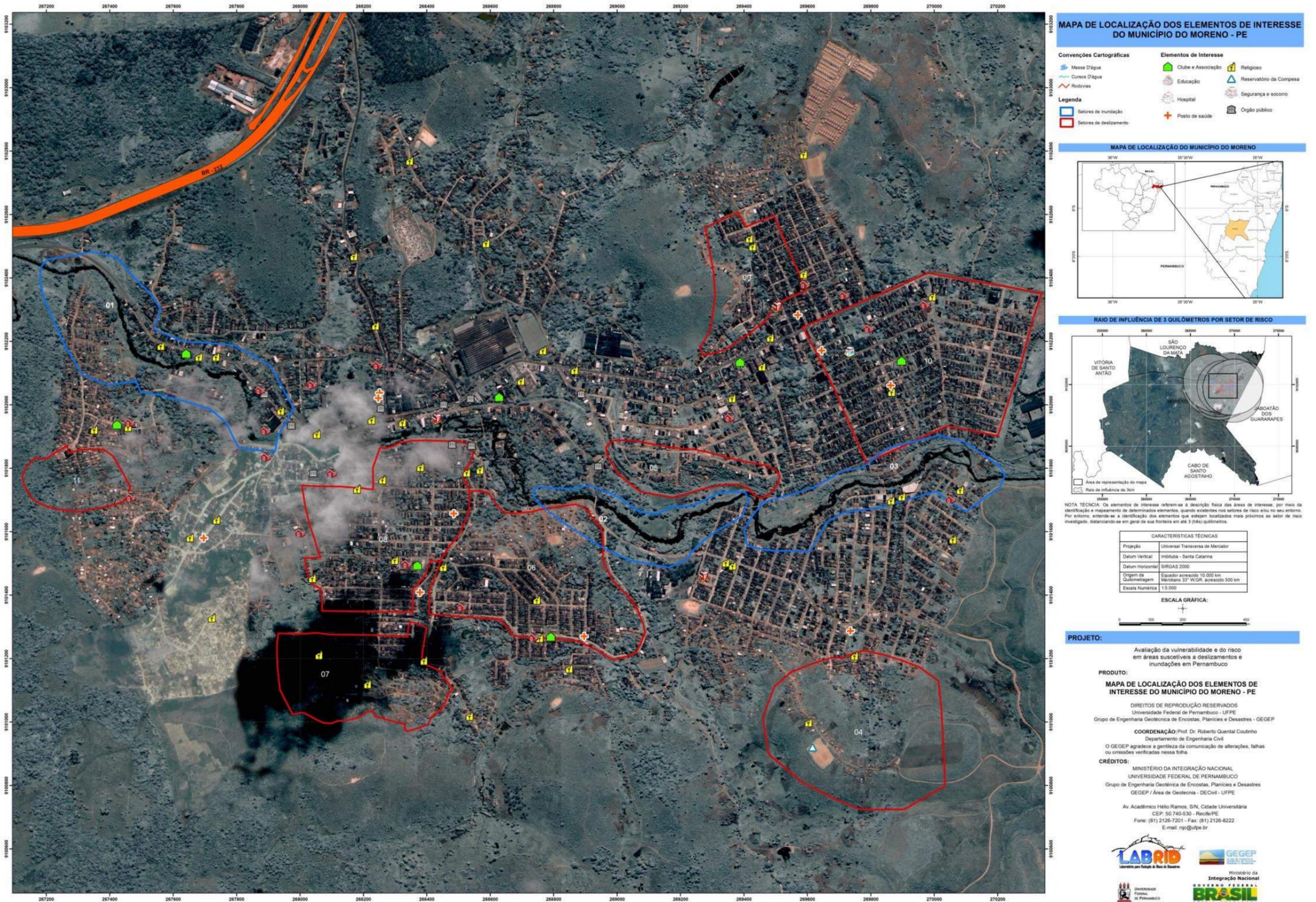
condições precárias, mas grande parte exibiu condições entre regular a satisfatórias para servirem de suporte.

Assim a confluência de fatores como grande quantidade de estruturas identificadas, associado à sua condição e distância ao subsetor permitiu um resultado variando entre médio e baixo entre os subsetores avaliados. Alguns exemplos destes elementos são apresentados no Quadro 7.1, estão em sua totalidade espacializados na Figura 7.26.

Quadro 7.1 – Alguns elementos de interesse do município de Moreno.

| COORDENADAS | NOME | CONDIÇÃO |
|-----------------------------|--|-----------------|
| EDUCAÇÃO | | |
| 266789/ 9101919 | Escola Municipal Baltazar Moreno | Regular |
| 267466/9101711 | Erem Dom Jaime Câmara | Boa |
| 268337/ 9101502 | Escola Municipal Professora Noemi Guerra | Precária |
| 267874/ 9102050 | Escola Disneylândia | Ótima |
| SAÚDE | | |
| 269863/ 9102061 | USF Maternidade | Regular |
| 268896/ 9101270 | USF João Paulo II | Boa |
| 269570/ 9102283 | USF Santo Antônio | Precária |
| 269733/ 9102169 | Hospital Armindo Moura | Regular |
| 269645/ 9102171 | Centro de Referência da Mulher | Boa |
| 268247/ 9102021 | Centro de Especialidades Odontológicas | Boa |
| RELIGIOSO | | |
| 269588/ 9102413 | Igreja Católica Santo Antônio | Boa |
| 269417/ 9102525 | Igreja Assembléia de Deus | Boa |
| 269363/ 9102021 | Centro Espírita 9 de Outubro | Boa |
| 268697/ 9102076 | Matriz Nossa Senhora da Conceição | Boa |
| ÓRGÃOS PÚBLICOS | | |
| 268453/ 910200 | Prefeitura Municipal | Ótima |
| 268887/ 9102034 | Secretaria de Educação e Esportes | Boa |
| 268042/ 9101785 | Fórum Desembargador Duarte Lima | Ótima |
| SEGURANÇA E SOCORRO | | |
| 269271/ 9101461 | SAMU Moreno | Boa |
| 269502/ 9102310 | Delegacia de Polícia da 21º CIRC Moreno | Ótima |
| CLUBES E ASSOCIAÇÕES | | |
| 269388/ 9102135 | SESI | Ótima |
| 268628/9102025 | Clube Antigo Société | Boa |

Fonte: Coutinho (2015)



7.2.3 - Grau de Vulnerabilidade Final

Para a obtenção do grau de vulnerabilidade final (GVf) foi adotado peso para cada uma das dimensões: 0,55 para a físico-ambiental e 0,45 para a socioeconômica e cultural. Cada uma dessas dimensões recebeu pesos, de acordo com sua importância frente a uma situação de desastre, assim julgou-se que a dimensão físico-ambiental receberia maior peso em relação à socioeconômica e cultural. A expressão final para determinação do grau de vulnerabilidade final de vulnerabilidade é apresentada abaixo (Equação 7.1).

$$GVf = \frac{(GVD_{FA} * 0,55) + (GVD_{SE} * 0,45)}{(0,55 + 0,45)} \quad \text{(Equação 7.1)}$$

A Tabela 7.6 expõe o grau de vulnerabilidade final para cada um dos subsetores avaliados. Em seguida são apresentados os mapas do grau de vulnerabilidade final, para uma melhor organização do trabalho foram separados de acordo com os processos atuantes nas áreas, gerando assim um mapa de vulnerabilidade para inundação (Figura 7.27) e um para movimento de massa (Figura 7.28). A vulnerabilidade foi sinalizada nos mapas seguindo a escala de cores: verde para baixa, amarela para média, vermelha para alta e roxa para muito alta. A suscetibilidade e o risco serão representados seguindo a mesma escala de cor.

No município foram diagnosticados 19 subsetores com grau alto de vulnerabilidade, 49 médios e 2 baixos. Nos subsetores de inundação todos exibiram grau médio, demonstrando assim, que todas as áreas de vulnerabilidade alta estão compreendidas em subsetores sujeitos a movimentos de massa. Dessa forma, Henrique (2014) estudando área suscetível apenas a movimentos de massa em Ipojuca obteve para todos os seus setores estudados vulnerabilidade alta, revelando que essa fragilidade não é apenas observada no município de Moreno.

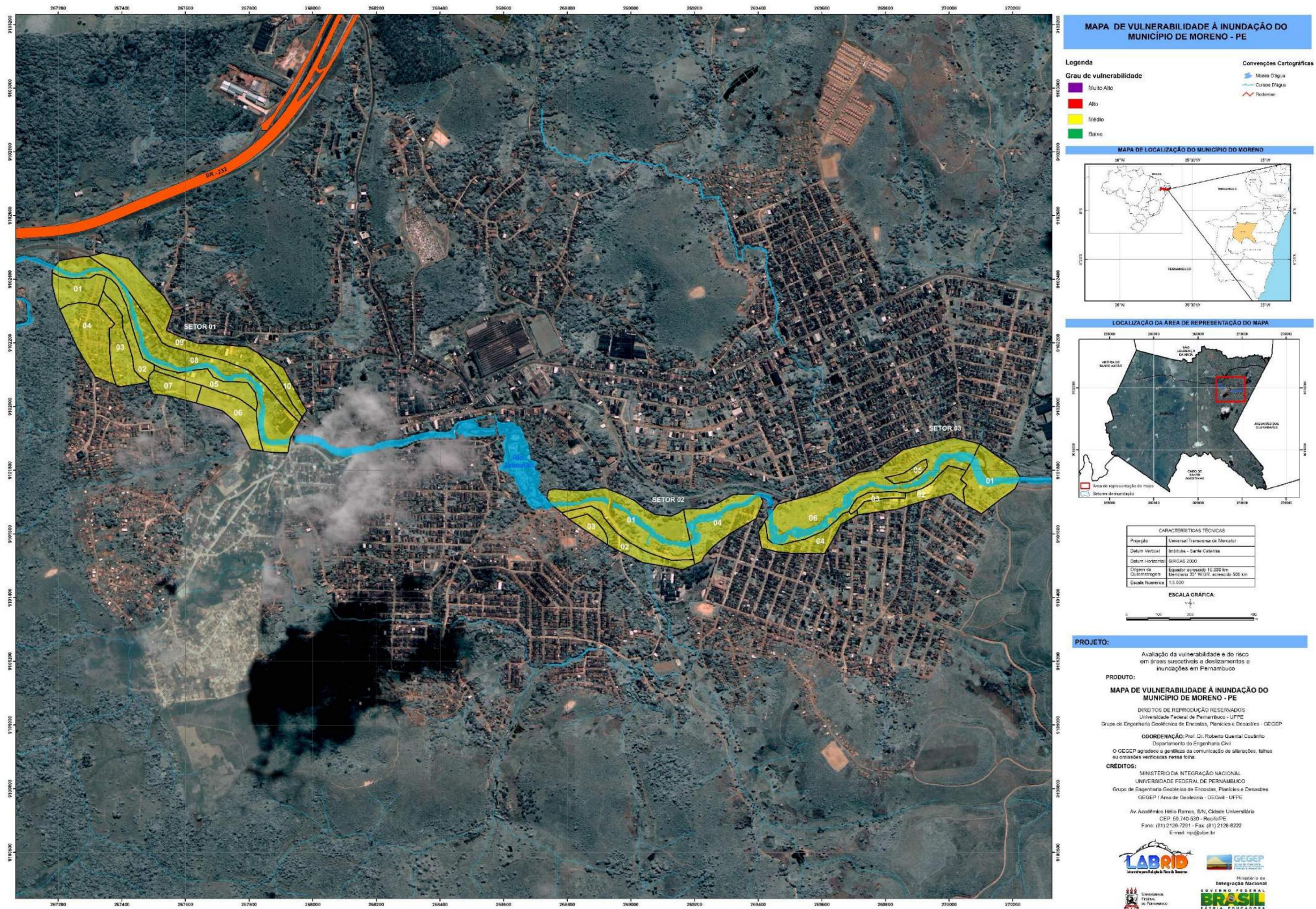
A pesquisa realizada seguiu a tendência apontada por Soriano (2012), para o mesmo, o estudo em torno da vulnerabilidade no Brasil encontra-se centrado no estudo das cidades e na ausência de equipamentos urbanos mínimos para uma condição de vida adequada. Os estudos concentram-se na desigualdade sócio espacial, associadas à distribuição de renda, ocupação de áreas de risco e a fragilidade estrutural das residências.

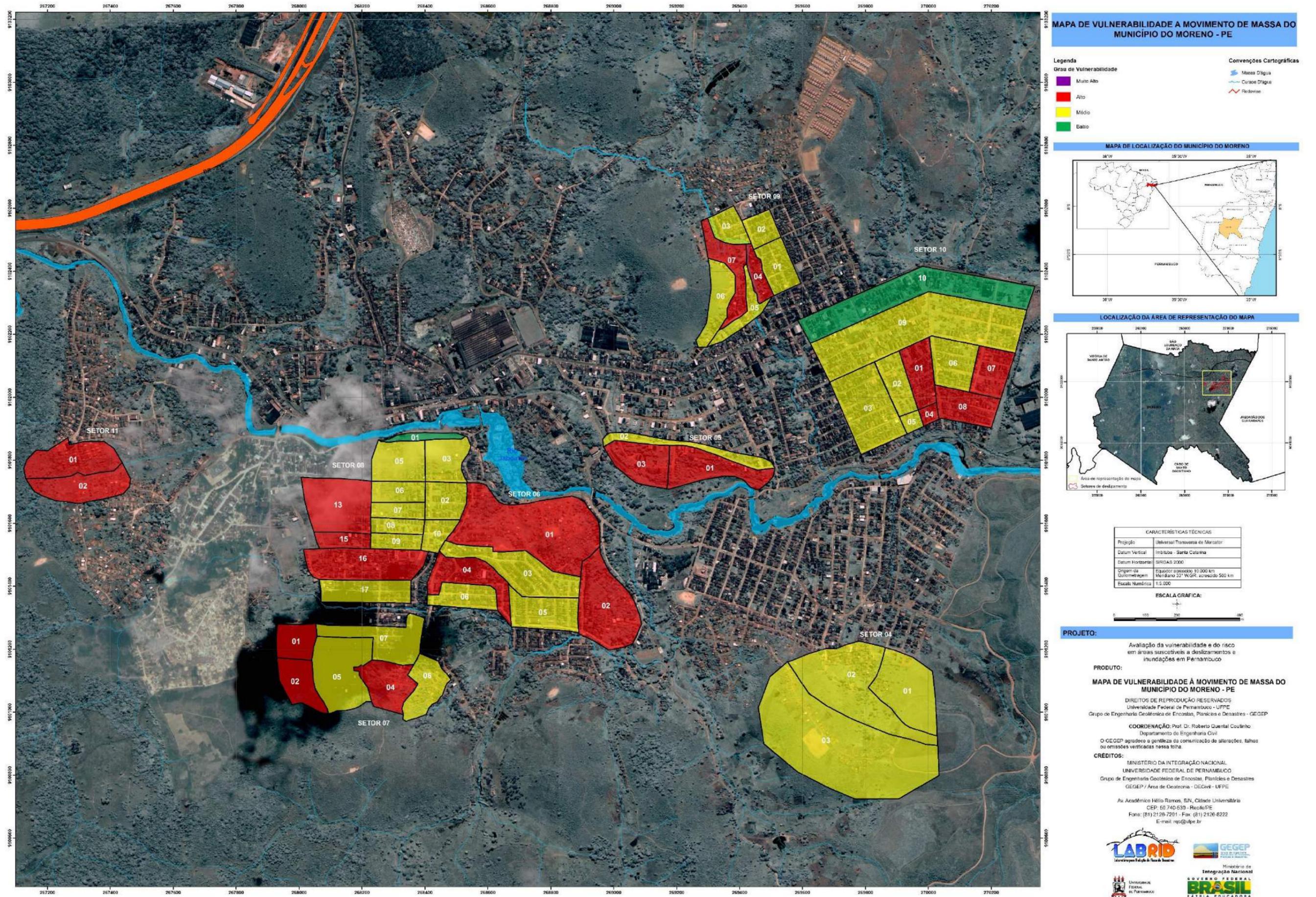
Tabela 7.6 – Grau de vulnerabilidade final por subsetor.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU FINAL DE VULNERABILIDADE INUNDAÇÃO | |
|-------|----------|---|-------|
| 01 | 0101 | 1,96 | Médio |
| | 0102 | 2,04 | Médio |
| | 0103 | 2,04 | Médio |
| | 0104 | 2,08 | Médio |
| | 0105 | 1,96 | Médio |
| | 0106 | 1,89 | Médio |
| | 0107 | 1,85 | Médio |
| | 0108 | 1,85 | Médio |
| | 0109 | 1,97 | Médio |
| | 0110 | 1,90 | Médio |
| 02 | 0201 | 1,84 | Médio |
| | 0202 | 1,80 | Médio |
| | 0203 | 1,77 | Médio |
| | 0204 | 1,77 | Médio |
| 03 | 0301 | 1,80 | Médio |
| | 0302 | 2,00 | Médio |
| | 0303 | 1,84 | Médio |
| | 0304 | 1,82 | Médio |
| | 0305 | 2,07 | Médio |
| | 0306 | 1,84 | Médio |

| SETOR | SUBSETOR | GRAU FINAL DE VULNERABILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|-------|
| 04 | 0401 | 2,29 | Médio |
| | 0402 | 2,21 | Médio |
| | 0403 | 2,18 | Médio |
| 05 | 0501 | 2,55 | Alto |
| | 0502 | 1,86 | Médio |
| | 0503 | 2,67 | Alto |
| 06 | 0601 | 2,62 | Alto |
| | 0602 | 2,75 | Alto |
| | 0603 | 2,34 | Médio |
| | 0604 | 2,74 | Alto |
| | 0605 | 1,97 | Médio |
| | 0606 | 2,01 | Médio |
| 07 | 0701 | 2,55 | Alto |
| | 0702 | 2,65 | Alto |
| | 0704 | 2,70 | Alto |
| | 0705 | 2,08 | Médio |
| | 0706 | 2,11 | Médio |
| | 0707 | 1,82 | Médio |
| | 08 | 0801 | 1,45 |
| 0802 | | 2,21 | Médio |
| 0803 | | 2,17 | Médio |
| 0805 | | 1,99 | Médio |
| 0806 | | 2,31 | Médio |
| 0807 | | 2,02 | Médio |
| 0808 | | 1,94 | Médio |
| 0809 | | 2,22 | Médio |
| 0810 | | 2,41 | Médio |
| 0813 | | 2,67 | Alto |
| 09 | 0815 | 2,71 | Alto |
| | 0816 | 2,66 | Alto |
| | 0817 | 1,94 | Médio |
| | 0901 | 2,28 | Médio |
| | 0902 | 1,80 | Médio |
| | 0903 | 1,98 | Médio |
| | 0904 | 2,73 | Alto |
| 10 | 0905 | 1,89 | Médio |
| | 0906 | 2,41 | Médio |
| | 0907 | 2,59 | Alto |
| | 1001 | 2,76 | Alto |
| | 1002 | 2,43 | Médio |
| | 1003 | 1,94 | Médio |
| | 1004 | 2,67 | Alto |
| | 1005 | 2,18 | Médio |
| | 1006 | 2,15 | Médio |
| | 1007 | 2,66 | Alto |
| 11 | 1008 | 2,80 | Alto |
| | 1009 | 1,97 | Médio |
| | 1010 | 1,38 | Baixo |
| | 1101 | 2,74 | Alto |
| | 1102 | 2,86 | Alto |

Fonte: Coutinho (2015).





Na interpretação multidimensional do conceito de vulnerabilidade, Maskrey (1984) refere que a vulnerabilidade de uma comunidade se expressa através de muitos fatores, tais como a desarticulação da organização social (vulnerabilidade social) a falta de acesso a recursos essenciais incluindo a tecnologia (vulnerabilidade econômica) a existência de uma esfera de gestão contra produtora (vulnerabilidade institucional) e acrescenta também a vulnerabilidade psicossocial, quando indivíduos e grupos estão expostos sem preparação prévia; informação, treino, podendo originar a vivência de situações que podem causar estresse e trauma. Fazendo uma analogia com o panorama encontrado em Moreno, a desarticulação social é visível nas áreas estudadas, onde a falta de organização comunitária, a inexistência de NUDEC'S e os problemas sociais presentes nos setores reforçam esse quadro. Apesar de todos os subsectores apresentarem bons índices de acesso aos meios de comunicação, o mesmo não pode ser dito referente a possuir veículo automotivo, afetando a mobilidade e revelando a vulnerabilidade econômica. A vulnerabilidade institucional será abordada mais à frente, devido sua relevância foi gerada uma sessão específica. Em relação à vulnerabilidade psicossocial, do universo de 2.222 pessoas estudadas nenhuma delas apresentou qualquer tipo de treinamento para enfrentar situação de risco aponta fragilidade e a exposição da população. Mesmo após 32 anos a interpretação de Maskrey se faz atual no contexto do município estudado.

7.3 - ANÁLISE DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE E PERIGO

Os aspectos relacionados à suscetibilidade e perigo advêm do comportamento do meio físico e da forma como é impactado/modificado seja por processos naturais ou antrópicos, refletindo no seu potencial de provocar danos. Conforme abordado na metodologia à determinação do grau de suscetibilidade em áreas de movimento de massa foi realizada diferentemente dos locais onde atuam processos de inundação no qual foi identificado o perigo e, portanto, serão relatadas em seções distintas.

7.3.1 - Suscetibilidade a processos de movimento de massa

A avaliação da suscetibilidade foi realizada através da observação do meio e registrada em formulários. Sendo analisada através dos indicadores “Geológico-geotécnico”, “Geomorfologia” e “Uso e ocupação”, considerando-se para isto seus respectivos pesos. De forma similar foram também analisados os subindicadores que formam o entendimento de cada um destes indicadores. As áreas foram estudadas por uma equipe multidisciplinar envolvendo especialistas nas áreas de geologia, geotecnia, pedologia e geomorfologia que auxiliaram, em campo, na determinação dos aspectos de cada subsetor. Foram analisadas as características de 50 subsetores totalizando uma área de 113,15 ha.

Conforme a Tabela 7.7 os pesos atribuídos a cada indicador são praticamente equivalentes, pois se concluiu que todos são de fundamental importância para se caracterizar a suscetibilidade.

Tabela 7.7 – Suscetibilidade a movimento de massa: indicadores e pesos atribuídos.

| INDICADOR | PESO ATRIBUÍDO |
|------------------------|----------------|
| Geológico-geotécnico | 0,333 |
| Geomorfológico | 0,333 |
| Uso e ocupação do solo | 0,334 |

Fonte: Coutinho (2015).

No capítulo 5, encontram-se todos os subindicadores que ajudam a compor os indicadores citados acima (Quadro 5.2), bem como, a equação para a obtenção do grau de suscetibilidade a movimento de massa. Os resultados obtidos para o grau de suscetibilidade de cada um dos indicadores (*GSind*) estão apresentados nas Tabelas 7.8 (geológico-geotécnico), 7.9 (geomorfológico) e 7.10 (uso e ocupação do solo). Em seguida os resultados serão comentados e associados às características encontradas nos subsetores.

Tabela 7.8 – Grau de suscetibilidade do indicador geológico-geotécnico.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE SUSCETIBILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|------------|
| 04 | 0401 | 3,00 | Alto |
| | 0402 | 3,00 | Alto |
| | 0403 | 3,00 | Alto |
| 05 | 0501 | 3,40 | Muito Alto |
| | 0502 | 3,40 | Muito Alto |
| | 0503 | 3,40 | Muito Alto |
| 06 | 0601 | 2,70 | Alto |
| | 0602 | 2,70 | Alto |
| | 0603 | 2,70 | Alto |
| | 0604 | 2,70 | Alto |
| | 0605 | 3,15 | Alto |
| | 0606 | 3,15 | Alto |
| 07 | 0701 | 2,90 | Alto |
| | 0702 | 2,90 | Alto |
| | 0704 | 2,90 | Alto |
| | 0705 | 2,90 | Alto |
| | 0706 | 2,90 | Alto |
| | 0707 | 2,90 | Alto |
| 08 | 0801 | 3,15 | Alto |
| | 0802 | 3,15 | Alto |
| | 0803 | 3,15 | Alto |
| | 0805 | 3,15 | Alto |
| | 0806 | 3,15 | Alto |
| | 0807 | 3,15 | Alto |
| | 0808 | 3,15 | Alto |
| | 0809 | 3,15 | Alto |
| | 0810 | 3,15 | Alto |
| | 0813 | 3,15 | Alto |
| | 0815 | 3,15 | Alto |
| 09 | 0901 | 3,15 | Alto |
| | 0902 | 3,15 | Alto |
| | 0903 | 3,15 | Alto |
| | 0904 | 3,15 | Alto |
| | 0905 | 3,15 | Alto |
| | 0906 | 3,15 | Alto |
| | 0907 | 3,15 | Alto |
| 10 | 1001 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1002 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1003 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1004 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1005 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1006 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1007 | 3,55 | Muito Alto |
| | 1008 | 3,20 | Alto |
| | 1009 | 3,20 | Alto |
| | 1010 | 3,20 | Alto |
| 11 | 1101 | 3,20 | Alto |
| | 1102 | 3,20 | Alto |

Fonte: Coutinho (2015).

I. Indicador geológico-geotécnico

Este indicador aborda aspectos relacionados à formação geológica da área, feições estruturais, pedologia, características geotécnicas e evidências de movimento.

Baseando no levantamento de campo e no mapa geológico do município, os 50 subsetores de movimento de massa estão situados sobre embasamento cristalino composto de rochas do tipo gnáissico-migmatítico (ortognaisses de composição granítica e diorítica, migmatizadas). A geologia é a mesma para todas as áreas estudadas, bem como em todo o perímetro urbano. Em relação a feições estruturais alguns subsetores apresentam rochas fraturadas. De acordo com o Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife (ALHEIROS et al., 2003) o embasamento cristalino ocorre extensivamente em toda a faixa oeste da Região Metropolitana do Recife. Os maciços cristalinos estão em sua maior parte capeados pelo seu solo residual, sendo comum a presença de matacões sobre o terreno, nessas regiões. A formação de argilominerais nos solos dessas rochas tem um papel importante nas ocorrências de deslizamentos.

As classes pedológicas identificadas foram: Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo. Em perfis de solos observados nas áreas foi possível localizar rocha alterada, solo residual jovem e um predomínio de solo residual maduro.

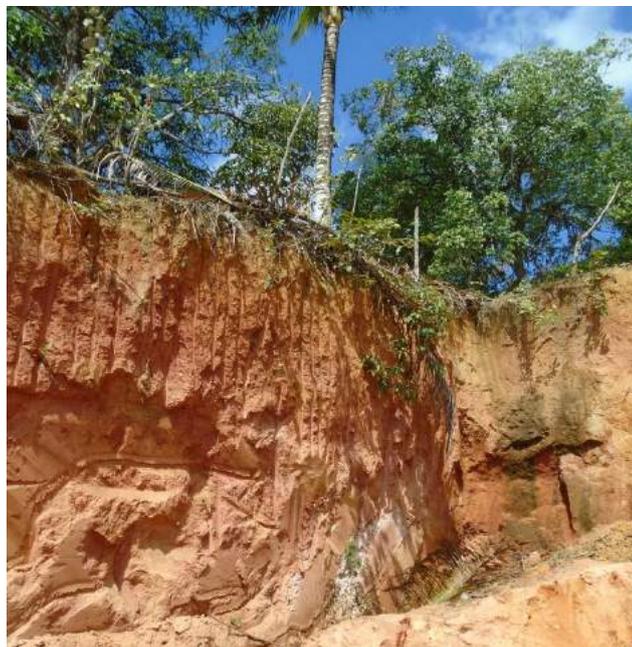
Os Argissolos Vermelho-Amarelo e os Argissolos Amarelos naturalmente tratam-se de solos com alta suscetibilidade aos processos erosivos em função, principalmente, de uma de suas características morfológicas que é a mudança textural abrupta. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos esses solos que apresentam descontinuidade textural abrupta entre o horizonte superficial (A) e o horizonte subsuperficial (Bt). Essa característica morfológica foi observada em exame morfológico no campo e comprovada através de análise textural de laboratório. As análises mostram que houve um incremento no teor de argila do horizonte A para o horizonte B. Essa descontinuidade faz com que em um evento de precipitação a água percole rapidamente do horizonte superficial para o horizonte subsuperficial onde devido ao incremento de argila, cria uma barreira dificultando a percolação da água, o que irá favorecer um escoamento lateral erodindo o horizonte superficial.

Latossolos Amarelo com textura argilosa. São bem drenados com suscetibilidade a erosão laminar considerada moderada a forte e com risco de deslizamento baixo a médio devido ao declive, em relevo forte ondulado.

Refere-se às evidências de movimentação encontradas no terreno as fissuras, rachaduras, muros embarrigados, postes e árvores inclinadas e cicatrizes de processos. Assim

foram observados os seguintes resultados: 10 subsetores apresentaram grau de suscetibilidade muito alto e 40 subsetores grau alto.

Figuras 7.29, 7.30 e 7.31 – Características do indicador geológico-geotécnico observadas nos subsetores, tais como: árvores inclinadas, Argissolo Vermelho-Amarelo e aspectos da geologia.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Tabela 7.9 – Grau de suscetibilidade do indicador geomorfológico.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE SUSCETIBILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|------------|
| 04 | 0401 | 2,08 | Médio |
| | 0402 | 2,10 | Médio |
| | 0403 | 3,13 | Alto |
| 05 | 0501 | 3,42 | Muito Alto |
| | 0502 | 1,95 | Médio |
| | 0503 | 3,47 | Muito Alto |
| 06 | 0601 | 3,53 | Muito Alto |
| | 0602 | 3,61 | Muito Alto |
| | 0603 | 2,17 | Médio |
| | 0604 | 3,65 | Muito Alto |
| | 0605 | 2,09 | Médio |
| | 0606 | 2,13 | Médio |
| 07 | 0701 | 3,49 | Muito Alto |
| | 0702 | 3,23 | Alto |
| | 0704 | 3,57 | Muito Alto |
| | 0705 | 3,23 | Alto |
| | 0706 | 3,23 | Alto |
| | 0707 | 2,23 | Médio |
| 08 | 0801 | 2,21 | Médio |
| | 0802 | 3,23 | Alto |
| | 0803 | 3,47 | Muito Alto |
| | 0805 | 3,31 | Muito Alto |
| | 0806 | 2,16 | Médio |
| | 0807 | 2,21 | Médio |
| | 0808 | 1,98 | Médio |
| | 0809 | 3,37 | Muito Alto |
| | 0810 | 3,27 | Muito Alto |
| | 0813 | 3,70 | Muito Alto |
| | 0815 | 3,70 | Muito Alto |
| 09 | 0901 | 1,96 | Médio |
| | 0902 | 2,03 | Médio |
| | 0903 | 2,82 | Alto |
| | 0904 | 2,77 | Alto |
| | 0905 | 2,38 | Médio |
| | 0906 | 2,67 | Alto |
| | 0907 | 2,82 | Alto |
| 10 | 1001 | 3,29 | Muito Alto |
| | 1002 | 3,37 | Muito Alto |
| | 1003 | 1,98 | Médio |
| | 1004 | 3,32 | Muito Alto |
| | 1005 | 3,10 | Alto |
| | 1006 | 2,98 | Alto |
| | 1007 | 3,11 | Alto |
| | 1008 | 3,09 | Alto |
| | 1009 | 1,99 | Médio |
| | 1010 | 1,01 | Baixo |
| 11 | 1101 | 3,13 | Alto |
| | 1102 | 3,39 | Muito Alto |

Fonte: Coutinho (2015).

II. Indicador geomorfológico

O objetivo deste indicador é analisar as particularidades associadas ao relevo, classe de curvatura da encosta e sua contribuição no direcionamento da drenagem dentro do subsetor, além de auxiliar na compreensão dos processos atuantes. Foram captados dados sobre: tipo de relevo; altura, extensão e inclinação da encosta, classe de curvatura (vertical e horizontal). Nas áreas estudadas prevaleceu o relevo do tipo colinas dissecadas, apresentando topos variando entre arredondados aguçados a topos retilíneos tabulares. O grau de entalhamento dos vales oscilou entre regiões de fraco (20 a 40 m) a regiões com grau de entalhamento muito forte (>160 m).

Os subsetores investigados estão localizados em encostas com a seguinte conformação: a encosta mais alta estudada possui cerca de 60 metros de altura, a mais baixa 13m; a encosta mais longa possui 632 m de extensão; as inclinações variam de 10° a 26°.

As encostas obedeceram aos seguintes padrões de curvatura: côncava-convergente, convexa-divergente e convexa-convergente. Para o IPT (1991) a influência na estabilidade da encosta de acordo com os perfis funciona da seguinte forma: Encostas convexas apresentam, em média, maiores espessuras de solos, que pode influenciar no sentido de favorecer a instabilidade, potencializando uma ruptura mais profunda. Do ponto de vista de Fernandes e Amaral (1996) os perfis côncavos, por serem zonas de convergência de sedimentos e de fluxos d'água, são mais favoráveis aos movimentos de massa.

Ao analisar o indicador geomorfológico, as encostas apresentaram o seguinte comportamento: 18 subsetores com grau de suscetibilidade muito alto, 14 subsetores com grau alto, 18 subsetores com grau médio.

Figura 7.32 – Subsetor 0906 com grau de suscetibilidade alto ao indicador geomorfológico.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

Tabela 7.10 – Grau de suscetibilidade do indicador uso e ocupação do solo.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE SUSCETIBILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|------------|
| 04 | 0401 | 2,21 | Médio |
| | 0402 | 2,38 | Médio |
| | 0403 | 3,03 | Alto |
| 05 | 0501 | 3,04 | Alto |
| | 0502 | 2,01 | Médio |
| | 0503 | 3,28 | Muito Alto |
| 06 | 0601 | 3,07 | Alto |
| | 0602 | 3,12 | Alto |
| | 0603 | 2,09 | Médio |
| | 0604 | 3,33 | Muito Alto |
| | 0605 | 2,36 | Médio |
| | 0606 | 2,22 | Médio |
| 07 | 0701 | 3,36 | Muito Alto |
| | 0702 | 3,34 | Muito Alto |
| | 0704 | 3,55 | Muito Alto |
| | 0705 | 3,23 | Alto |
| | 0706 | 3,26 | Muito Alto |
| | 0707 | 2,26 | Médio |
| 08 | 0801 | 2,12 | Médio |
| | 0802 | 3,28 | Muito Alto |
| | 0803 | 3,10 | Alto |
| | 0805 | 3,23 | Alto |
| | 0806 | 2,15 | Médio |
| | 0807 | 2,13 | Médio |
| | 0808 | 2,11 | Médio |
| | 0809 | 3,17 | Alto |
| | 0810 | 3,17 | Alto |
| | 0813 | 3,20 | Alto |
| | 0815 | 3,49 | Muito Alto |
| 09 | 0816 | 3,22 | Alto |
| | 0817 | 2,22 | Médio |
| | 0901 | 2,18 | Médio |
| | 0902 | 2,16 | Médio |
| | 0903 | 3,11 | Alto |
| | 0904 | 2,72 | Alto |
| | 0905 | 3,20 | Alto |
| 10 | 0906 | 3,03 | Alto |
| | 0907 | 3,09 | Alto |
| | 1001 | 3,06 | Alto |
| | 1002 | 3,22 | Alto |
| | 1003 | 1,96 | Médio |
| | 1004 | 3,35 | Muito Alto |
| | 1005 | 3,19 | Alto |
| | 1006 | 3,19 | Alto |
| | 1007 | 3,05 | Alto |
| | 1008 | 3,35 | Muito Alto |
| 11 | 1009 | 2,07 | Médio |
| | 1010 | 1,02 | Baixo |
| | 1101 | 3,17 | Alto |
| | 1102 | 3,08 | Alto |

Fonte: Coutinho (2015).

III. Indicador uso e ocupação

Diversos autores destacam o uso e ocupação do solo com um dos aspectos mais complexos, que interfere significativamente nos processos erosivos e de instabilidade. A metodologia aqui empregada captou informações sobre: categoria de ocupação (estágio de ocupação, modo de ocupação, predominância das edificações, padrão das edificações); cobertura superficial (tipo de cobertura superficial, percentual de desmatamento); condição de tratamento (condição do revestimento da encosta, percentual da encosta que apresenta revestimento, condição da estrutura de contenção e percentual, condição do sistema de drenagem e percentual); fatores antrópicos (sistema de drenagem superficial, direcionamento do sistema de coleta de água de chuva dos telhados, destino do esgoto, abastecimento de água e fatores agravantes).

De maneira geral observa-se que o modo de ocupação foi espontâneo nas áreas estudadas e a cidade como um todo segue essa tendência. O estágio de ocupação varia entre poucas áreas relativamente consolidadas e muitas em consolidação (Figura 7.33).

Pouco resta da vegetação nativa nas áreas estudadas, o percentual de desmatamento é alto. São observados pequenos cultivos nos fundos das casas, com destaque para elevada presença de bananeiras, cultura reconhecida por sua capacidade de favorecer a desestabilização de encostas (Figura 7.34). Em todos os subsetores observados o grau de exposição do solo é alto, contribuindo para a ocorrência de processos erosivos.

A cerca das condições de tratamento do talude, poucas são as estruturas de contenção encontradas. Com destaque para o fato de que muitas delas são executadas pelos próprios moradores sem nenhum projeto ou orientação, onde fica evidente a precariedade da construção e em muitos casos não incorporam o sistema de drenagem à obra. Favorecendo a situações como a encontrada na Figura 7.35.

Os dentre os fatores antrópicos observou-se: corte/escavação de taludes; taludes sem proteção vegetal (Figura 7.36); vazamento de tubulação; lançamento de água servida em superfície; lançamento de lixo e entulho nas encostas; fossas drenantes próximas à crista; sobrecarga de estrutura/aterro de grande porte, remoção de vegetação e uma série de outros fatores.

Assim o cenário encontrado foi de 23 subsetores com grau alto de suscetibilidade para o indicador uso e ocupação, 10 muito alto, 16 médios e 1 baixo.

Figura 7.33 e 7.34 – Área de ocupação em estágio de consolidação no subsetor 0705 e presença de bananeiras na encosta.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015)

Figura 7.35 e 7.36 – Estrutura de contenção que desabou e talude exposto.



Fonte: Moreno (2015) e GEGEP/UFPE (2015)

7.3.2 - Grau de suscetibilidade final para movimento de massa

O grau final de suscetibilidade para movimento de massa é determinado, de acordo com a expressão abaixo:

$$GSf = \frac{0,333 * (I) + 0,333 * (II) + 0,334 * (III)}{(0,333 + 0,333 + 0,334)}$$

A Tabela 7.11 apresenta os resultados alcançados para cada subsetor.

Tabela 7.11 – Grau de suscetibilidade final para processos de movimento de massa.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU FINAL DE SUSCETIBILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | |
|-------|----------|--|------------|
| 04 | 0401 | 2,43 | Médio |
| | 0402 | 2,49 | Médio |
| | 0403 | 3,06 | Alto |
| 05 | 0501 | 3,29 | Muito alto |
| | 0502 | 2,45 | Médio |
| | 0503 | 3,39 | Muito alto |
| 06 | 0601 | 3,10 | Alto |
| | 0602 | 3,15 | Alto |
| | 0603 | 2,32 | Médio |
| | 0604 | 3,23 | Alto |
| | 0605 | 2,38 | Médio |
| 07 | 0606 | 2,35 | Médio |
| | 0701 | 3,25 | Alto |
| | 0702 | 3,16 | Alto |
| | 0704 | 3,34 | Muito alto |
| | 0705 | 3,12 | Alto |
| | 0706 | 3,13 | Alto |
| | 0707 | 2,46 | Médio |
| 08 | 0801 | 2,49 | Médio |
| | 0802 | 3,22 | Alto |
| | 0803 | 3,23 | Alto |
| | 0805 | 3,24 | Alto |
| | 0806 | 2,49 | Médio |
| | 0807 | 2,50 | Médio |
| | 0808 | 2,41 | Médio |
| | 0809 | 3,23 | Alto |
| | 0810 | 3,20 | Alto |
| | 0813 | 3,35 | Muito alto |
| | 0815 | 3,45 | Muito alto |
| | 0816 | 3,34 | Muito alto |
| | 0817 | 2,49 | Médio |
| 09 | 0901 | 2,43 | Médio |
| | 0902 | 2,45 | Médio |
| | 0903 | 3,03 | Alto |
| | 0904 | 2,88 | Alto |
| | 0905 | 2,91 | Alto |
| | 0906 | 2,95 | Alto |
| | 0907 | 3,02 | Alto |
| 10 | 1001 | 3,30 | Muito alto |
| | 1002 | 3,38 | Muito alto |
| | 1003 | 2,50 | Médio |
| | 1004 | 3,41 | Muito alto |
| | 1005 | 3,28 | Muito alto |
| | 1006 | 3,24 | Alto |
| | 1007 | 3,24 | Alto |
| | 1008 | 3,22 | Alto |
| | 1009 | 2,42 | Médio |
| | 1010 | 1,74 | Baixo |
| 11 | 1101 | 3,17 | Alto |
| | 1102 | 3,23 | Alto |

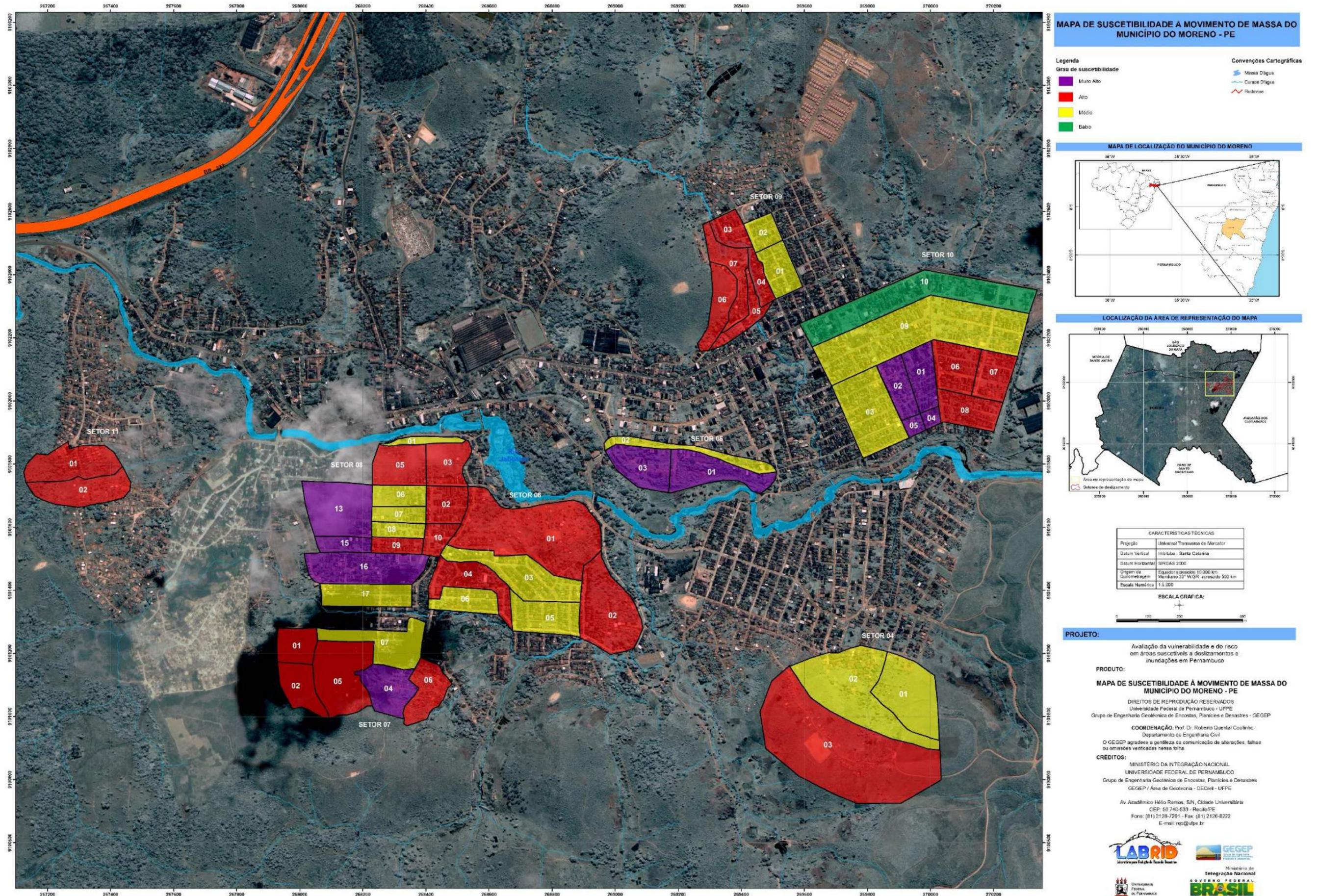
Fonte: Coutinho (2015).

Desta forma, foram contabilizados 16 subsetores de suscetibilidade média, 23 de alta, 10 de muito alta, 1 de baixa. Observou-se que as particularidades da geologia da área estudada, somada a formação geomorfológica e principalmente a ação do homem interferindo no meio por ações como: retirada da cobertura superficial deixando o solo exposto; cortes verticalizados alterando a geometria da encosta a deixando mais instável; o descarte inapropriado do lixo e entulho nas encostas; lançamento de água servida na superfície das encostas; entre muitos outros fatores, foram decisivos para o incremento no grau final da suscetibilidade.

Esse mesmo aspecto foi considerado por Bandeira (2003) segundo ela, a relação entre a ação antrópica e processos de instabilidade é evidente, onde a alta frequência dos acidentes não se deve apenas as suas características geológicas, nem as suas feições topográficas, mas principalmente à forma como as áreas são ocupadas, com cortes e aterros, lançamento de águas servidas e lixo. Estudos realizados por GUSMÃO FILHO et al. (1992), em Jaboaão dos Guararapes, mostraram que os fatores antrópicos são os mais importantes para a deflagração dos escorregamentos.

No tocante aos processos erosivos, Santoro (2000) expõe que nas áreas urbanas, a erosão avança agressivamente nos setores de expansão das cidades, por meio da abertura de novos loteamentos, os quais exigem para a sua implantação, grande movimentação e exposição de solos. Estes terrenos, sem a proteção da cobertura vegetal e das camadas superficiais do solo, tornam-se vulneráveis à ação das chuvas e do escoamento superficial das águas pluviais, propiciando a instalação da erosão acelerada. Associados aos aspectos da implantação das moradias, a escolha de locais geotecnicamente inadequados, falta de infraestrutura urbana, traçado inadequado do sistema viário e sistemas de drenagem mal concebidos e mal executados aceleram a ocorrência dos processos. A forma como é descrito o processo muito se assemelha ao cenário visualizado em campo.

A Figura 7.37, exhibe o mapa de suscetibilidade a movimento de massa do município.



7.3.3 - Determinação de perigo para processos de inundação

Foram estudados 20 subsetores totalizando uma área de 43,56 ha referentes a esse processo, localizados em regiões caracterizadas como planícies e terraços de inundação, com dimensões interfluviais muito pequenas (< 250 m). O traçado do rio é retilíneo e em alguns pontos meandrante, o aspecto das margens é suave, o fundo do leito é de aluvião e em alguns locais rochoso. O setor do rio que corta a cidade é o médio curso e não sofre influência das marés.

A classe de solo identificada nas áreas foi o Neossolo Flúvico, segundo Silva *et al.* (2001) no geral estes solos ocorrem nos ambientes de várzeas, planícies fluviais e terraços aluvionares, entre suas restrições apontam o risco de inundação. Os setores encontram-se situados sob embasamento cristalino como comentado anteriormente.

Em vários subsetores foi visualizada a presença de assoreamento do rio; a existência de lixo e entulhos; e retirada da vegetação nas margens. Foi possível notar em alguns pontos a agricultura de várzea, alguns moradores usam as margens do rio para cultivar.

Em 2 de Junho de 2005 a cidade sofreu a maior inundação da sua história. Devido às fortes chuvas registradas, que já vinham ocorrendo desde o dia anterior, o nível do rio começou a subir de forma rápida e veloz que associada à força da água teve um poder de destruição alto, quebrando pontes, destruindo casas e levando centenas de pessoas a perderem seus bens (Figura 7.38 e 7.39). Os fatos apontados por Santos (2013) dimensionam a catástrofe, segundo ela, entre os dias 30 de maio e 02 de junho de 2005, fortes chuvas provocaram enchentes em 25 cidades do Agreste, Zona da Mata e Litoral pernambucanos, deixando 36 mortos e mais de 30 mil pessoas desabrigadas. Cerca de sete mil casas foram parcialmente ou totalmente destruídas, 40 pontes foram danificadas e 11 rodovias estaduais foram atingidas, sendo que sete delas ficaram interditadas. A água inundou as ruas centrais, hospitais, escolas e casas comerciais de várias cidades, provocando enormes prejuízos materiais. Pouco mais de 30 mil estudantes da rede estadual de ensino ficaram vários dias sem aulas. Em todas as cidades atingidas, 93 escolas foram danificadas e outras 11 foram transformadas em abrigos para os desabrigados. As cidades mais atingidas foram: Moreno, Vitória de Santo Antão, Jaboatão, Nazaré da Mata, Pombos, Ribeirão, Cabo e Escada.

Esse evento foi tomado como parâmetro para coleta de informações. Desta forma, através de entrevista com os moradores antigos, residentes de cada subsetor e baseado em imagens e vídeos do evento, foi possível recolher dados que auxiliaram a determinar a suscetibilidade a inundação, conforme os dois métodos apresentados na metodologia.

Figura 7.38 – Imagem da cidade na inundação de 2005.



Fonte: Imagem cedida por morador.

Figura 7.39 – Casa destruída pela inundação de 2005 e permanece na área até os dias atuais



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

A Tabela 7.12 apresenta os resultados do perigo de inundação de acordo com método I, levando em consideração a maior altura de água na área. E a Tabela 7.13 os resultados de acordo com método II, levando em conta além da profundidade a capacidade de carga e a velocidade de elevação da água, encontrada para cada subsetor investigado.

Tabela 7.12 – Grau de Perigo à inundação pelo método I.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE SUSCETIBILIDADE INUNDAÇÃO | |
|-------|----------|-----------------------------------|------------|
| 01 | 0101 | 3,00 | Muito Alto |
| | 0102 | 2,00 | Muito Alto |
| | 0103 | 0,50 | Alto |
| | 0104 | 0,00 | Baixo |
| | 0105 | 3,00 | Muito Alto |
| | 0106 | 0,00 | Baixo |
| | 0107 | 1,00 | Alto |
| | 0108 | 2,00 | Muito Alto |
| | 0109 | 0,50 | Médio |
| | 0110 | 0,00 | Baixo |
| 02 | 0201 | 1,00 | Alto |
| | 0202 | 0,50 | Médio |
| | 0203 | 0,00 | Baixo |
| | 0204 | 1,00 | Alto |
| 03 | 0301 | 3,00 | Muito Alto |
| | 0302 | 0,00 | Baixo |
| | 0303 | 1,00 | Alto |
| | 0304 | 1,50 | Alto |
| | 0305 | 0,50 | Médio |
| | 0306 | 0,00 | Baixo |

Fonte: Coutinho (2015).

Tabela 7.13 - Grau de Perigo à inundação pelo método II.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE SUSCETIBILIDADE E INUNDAÇÃO |
|-------|----------|-------------------------------------|
| 01 | 0101 | Muito Alto |
| | 0102 | Muito Alto |
| | 0103 | Alto |
| | 0104 | Baixo |
| | 0105 | Muito Alto |
| | 0106 | Baixo |
| | 0107 | Muito Alto |
| | 0108 | Muito Alto |
| | 0109 | Médio |
| | 0110 | Baixo |
| 02 | 0201 | Muito Alto |
| | 0202 | Médio |
| | 0203 | Baixo |
| | 0204 | Muito Alto |
| 03 | 0301 | Muito Alto |
| | 0302 | Baixo |
| | 0303 | Muito Alto |
| | 0304 | Muito Alto |
| | 0305 | Médio |
| | 0306 | Baixo |

Fonte: Coutinho (2015).

Os resultados obtidos pelo método I foram: 5 subsetores obtiveram grau de perigo muito alto para inundação, 6 altos, 3 médios e 6 baixos. Como levou em consideração a maior altura que a água atingiu a área, subtende-se que quanto mais próxima do rio maior será a lamina de água e maiores os danos provocados. Assim os subsetores que apresentaram o risco alto e muito alto são os que mais se aproximam das margens do rio, à medida que se afasta são detectados os subsetores médios e baixos. Importante fazer uma ressalva sobre o setor 3, subsetores 0302 e 0306 que apesar de localizados próximos as margens apresentam risco baixo, isso se justifica, devido ao fato de estarem em cotas um pouco mais elevadas, assim a água chegou com uma lâmina menor. O mapa de perigo a inundação pelo método I, é apresentado na Figura 7.40.

Analisando os resultados obtidos através do método II, 10 subsetores apresentaram grau de perigo muito alto, 1 alto, 3 médios e 6 baixos. Na inundação de 2005, através de imagens de

vídeo e de conversa com os moradores, apontaram que a velocidade de elevação da água foi alta, e com alto poder de capacidade de carga. Devido a esses aspectos somados a profundidade da lâmina de água na área justifica-se o fato de 10 subsetores apresentarem grau de perigo muito alto. Esses resultados fornecem importantes dados para a gestão municipal, afim de evacuar ou agir de forma prioritária nas áreas sinalizadas como as mais críticas. O mapa de perigo a inundação pelo método II, é apresentado na Figura 7.41.

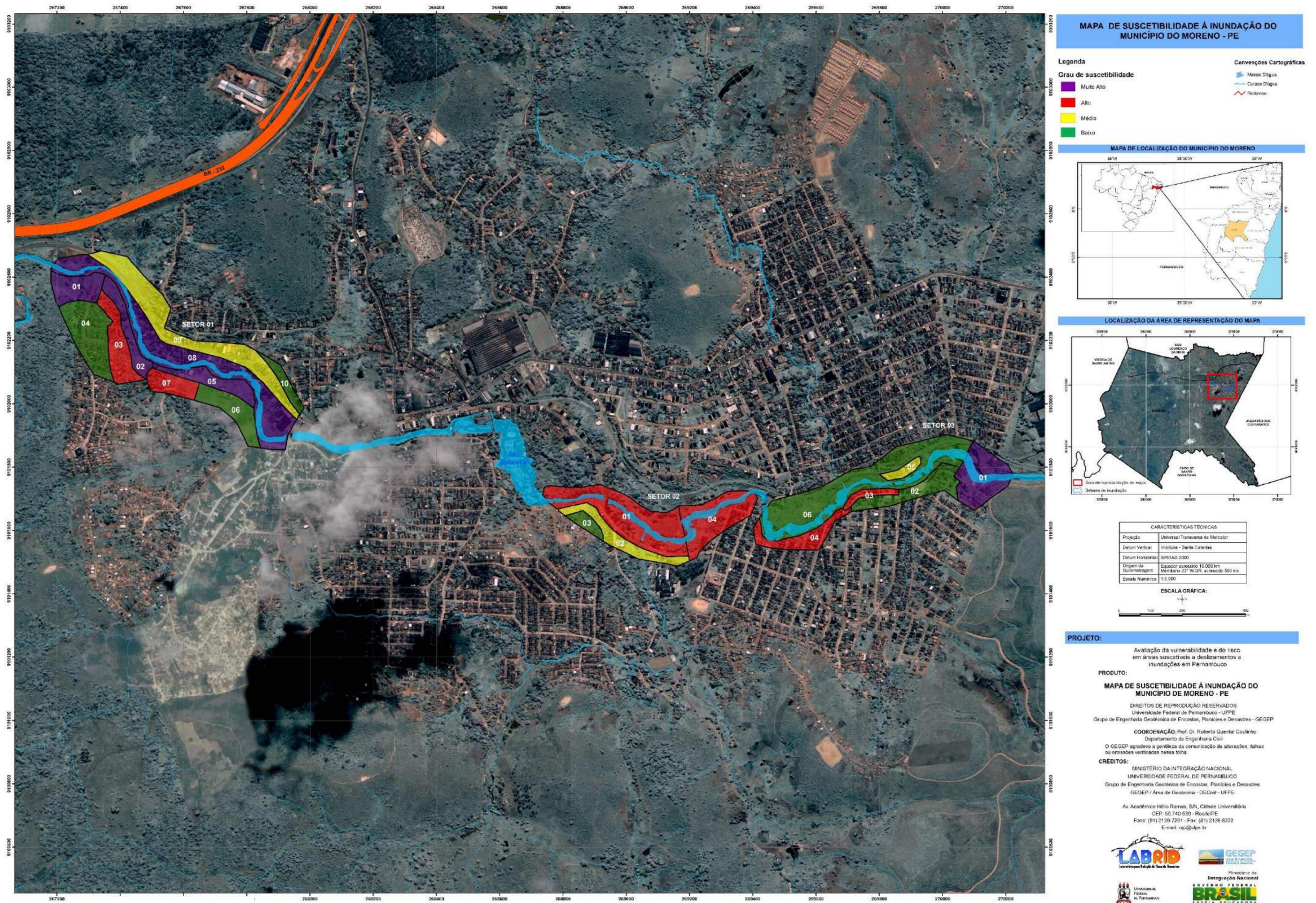
Em relação aos métodos adotados é importante frisar que cada um individualmente teve sua relevância, o primeiro demonstra as áreas que sofreram com as maiores lâminas de água e dá uma certa dimensão do alcance da inundação. O segundo indica as áreas que apresentam maior potencial de serem atingidas com a elevação rápida da água e com alta capacidade de transportar material.

Após a inundação de 2005 outros eventos foram registrados na cidade, como em 2010 e 2015, em proporções menores, mais não menos preocupantes. Considerando a reincidência de acontecimentos na região tais ocorrências revelam a relação dos eventos naturais associados à falta de decisões por parte dos governantes e das condições socioeconômicas da população que ocupam essas áreas. Assim, vale ressaltar o que diz a AMUPE (2010):

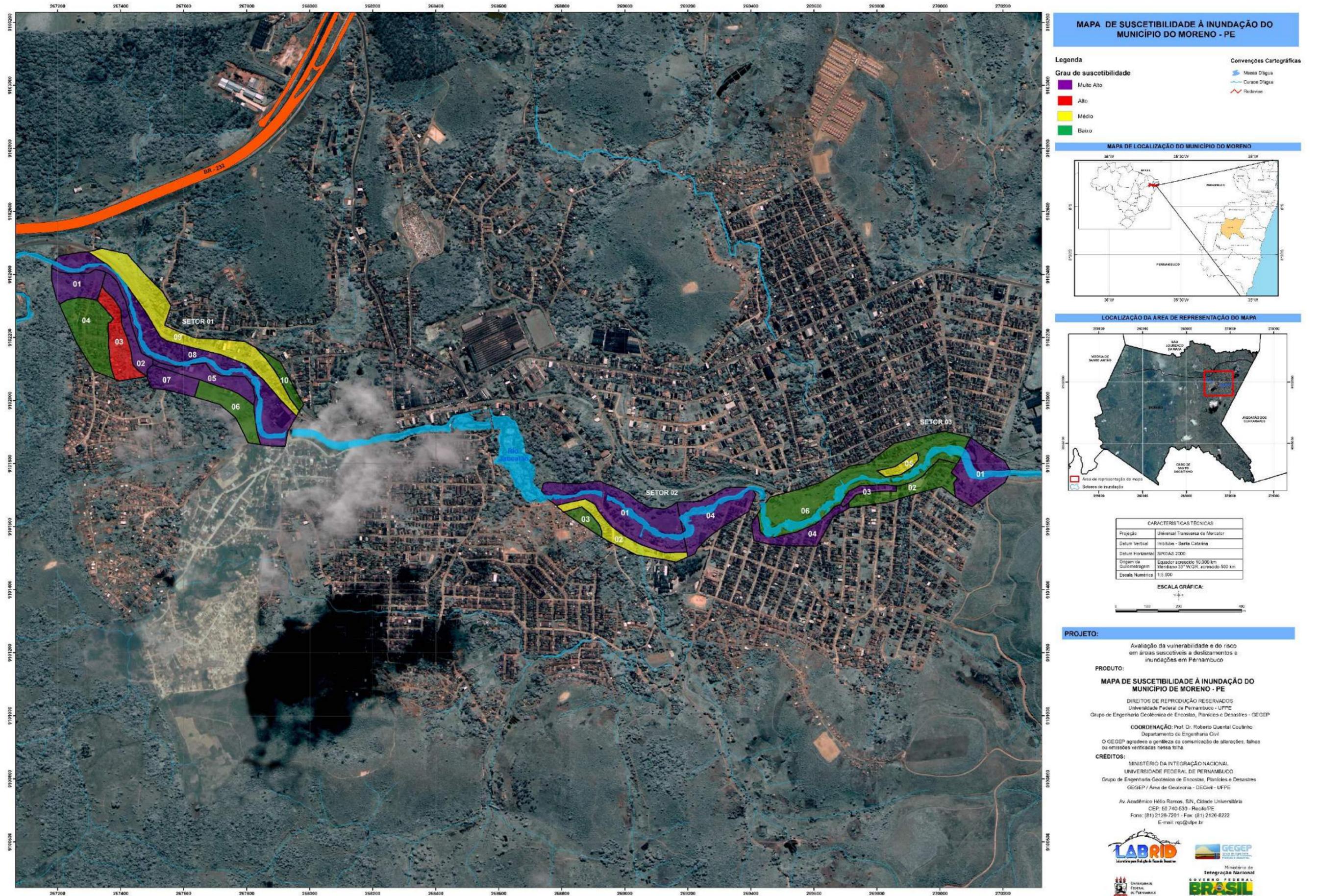
Os registros de ocorrência e frequência de eventos extremos ocorridos em Pernambuco nos últimos anos, bem como o cenário de mudança climática favorável a intensificação de desastres no território do Estado, merecem atenção de toda a sociedade e principalmente dos gestores públicos para ampliar o conhecimento sobre os processos geradores desses eventos extremos com ocorrência de acidentes e sua incidência, base para o planejamento e elaboração de instrumentos de gestão que contribuam para a imediata ação de prevenção, e desenvolvimento de ações de reconstrução de danos e de remoção da população ameaçada por situações de risco (p.19).

Assim estudos relacionados a aspectos de perigo a inundações na região são de fundamental importância para elaboração de planos de prevenção que possibilite a redução de perdas humanas e de danos materiais decorrentes destes eventos.

Figura 7.40 – Mapa de perigo à inundação do município de Moreno elaborado a partir do método I.



Fonte: Coutinho (2015).



7.4 - GRAU DE RISCO

Conhecidas as classificações do Grau de Vulnerabilidade e do Grau de Suscetibilidade ou Perigo, determinou-se então a classificação do Grau de Risco, adotando-se a matriz de correlação proposta pela AGS (2007), conforme o Quadro 7.2.

Quadro 7.2 – Matriz para análise e determinação do grau de risco conforme o arranjo entre a suscetibilidade/perigo e a vulnerabilidade.

| EVENTO/PROBABILIDADE | CONSEQUÊNCIAS PARA OS ELEMENTOS EXPOSTOS | | | |
|----------------------|--|------------|-------|-------|
| | Muito Alto | Alto | Médio | Baixo |
| Muito Alto | Muito Alto | Muito Alto | Alto | Alto |
| Alto | Muito Alto | Alto | Alto | Médio |
| Médio | Alto | Alto | Médio | Médio |
| Baixo | Alto | Médio | Médio | Baixo |

Fonte: Adaptado de AGS (2007); Coutinho (2015).

A Tabela 7.14, apresenta o grau de risco à inundação pelo método I e Tabela 7.15 o grau de risco à inundação pelo método II para cada subsetor.

Tabela 7.14 - Grau de risco à inundação obtido pela correlação entre o grau de vulnerabilidade e o grau de perigo utilizando o método I.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU FINAL DE VULNERABILIDADE INUNDAÇÃO | GRAU DE PERIGO INUNDAÇÃO | GRAU DE RISCO INUNDAÇÃO |
|-------|----------|---|--------------------------|-------------------------|
| 01 | 0101 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0102 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0103 | Médio | Alto | Alto |
| | 0104 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0105 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0106 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0107 | Médio | Alto | Alto |
| | 0108 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0109 | Médio | Médio | Médio |
| | 0110 | Médio | Baixo | Médio |
| 02 | 0201 | Médio | Alto | Alto |
| | 0202 | Médio | Médio | Médio |
| | 0203 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0204 | Médio | Alto | Alto |
| 03 | 0301 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0302 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0303 | Médio | Alto | Alto |
| | 0304 | Médio | Alto | Alto |
| | 0305 | Médio | Médio | Médio |
| | 0306 | Médio | Baixo | Médio |

Fonte: Coutinho (2015).

Tabela 7.15 - Grau de risco à inundação obtido pela correlação entre o grau de vulnerabilidade e o grau de perigo utilizando o método II.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU FINAL DE VULNERABILIDADE INUNDAÇÃO | GRAU DE PERIGO INUNDAÇÃO | GRAU DE RISCO INUNDAÇÃO |
|-------|----------|---|--------------------------|-------------------------|
| 01 | 0101 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0102 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0103 | Médio | Alto | Alto |
| | 0104 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0105 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0106 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0107 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0108 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0109 | Médio | Médio | Médio |
| | 0110 | Médio | Baixo | Médio |
| 02 | 0201 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0202 | Médio | Médio | Médio |
| | 0203 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0204 | Médio | Muito Alto | Alto |
| 03 | 0301 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0302 | Médio | Baixo | Médio |
| | 0303 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0304 | Médio | Muito Alto | Alto |
| | 0305 | Médio | Médio | Médio |
| | 0306 | Médio | Baixo | Médio |

Fonte: Coutinho (2015).

Ao analisar o grau de perigo a inundação, através dos dois métodos foram encontrados resultados diferentes para cada metodologia empregada. Porém ao correlacionar o resultado de cada método com o grau da vulnerabilidade, observou-se que os resultados do grau de risco por subsetor foram iguais para ambas as metodologias, demonstrando a influência que a vulnerabilidade teve sobre a determinação do grau de risco.

É possível constatar esse resultado observando as Tabelas 7.14 e 7.15. Por exemplo, o subsetor 0201 que pelo método I é considerado com grau de perigo alto, e no método II apresentou grau de perigo muito alto, entretanto quando ambos os casos são correlacionados com vulnerabilidade que foi considerada média para todos os subsetores, obedecendo a matriz do Quadro 7.2 o resultado é alto para ambas as situações. Assim gerou-se um único mapa de risco que representa o risco resultante dos dois métodos.

A Tabela 7.16 apresenta o grau de risco a movimento de massa.

Tabela 7.16 - Grau de risco a movimento de massa.

| SETOR | SUBSETOR | GRAU DE VULNERABILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | GRAU DE SUSCETIBILIDADE MOVIMENTO DE MASSA | GRAU DE RISCO MOVIMENTO DE MASSA |
|-------|----------|--|--|----------------------------------|
| 04 | 0401 | Médio | Médio | Médio |
| | 0402 | Médio | Médio | Médio |
| | 0403 | Médio | Alto | Alto |
| 05 | 0501 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| | 0502 | Médio | Médio | Médio |
| | 0503 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| 06 | 0601 | Alto | Alto | Alto |
| | 0602 | Alto | Alto | Alto |
| | 0603 | Médio | Médio | Médio |
| | 0604 | Alto | Alto | Alto |
| | 0605 | Médio | Médio | Médio |
| | 0606 | Médio | Médio | Médio |
| 07 | 0701 | Alto | Alto | Alto |
| | 0702 | Alto | Alto | Alto |
| | 0704 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| | 0705 | Médio | Alto | Alto |
| | 0706 | Médio | Alto | Alto |
| | 0707 | Médio | Médio | Médio |
| 08 | 0801 | Baixo | Médio | Médio |
| | 0802 | Médio | Alto | Alto |
| | 0803 | Médio | Alto | Alto |
| | 0805 | Médio | Alto | Alto |
| | 0806 | Médio | Médio | Médio |
| | 0807 | Médio | Médio | Médio |
| | 0808 | Médio | Médio | Médio |
| | 0809 | Médio | Alto | Alto |
| | 0810 | Médio | Alto | Alto |
| | 0813 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| | 0815 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| 0816 | Alto | Muito alto | Muito Alto | |
| 09 | 0901 | Médio | Médio | Médio |
| | 0902 | Médio | Médio | Médio |
| | 0903 | Médio | Alto | Alto |
| | 0904 | Alto | Alto | Alto |
| | 0905 | Médio | Alto | Alto |
| | 0906 | Médio | Alto | Alto |
| | 0907 | Alto | Alto | Alto |
| 10 | 1001 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| | 1002 | Médio | Muito alto | Alto |
| | 1003 | Médio | Médio | Médio |
| | 1004 | Alto | Muito alto | Muito Alto |
| | 1005 | Médio | Muito alto | Alto |
| | 1006 | Médio | Alto | Alto |
| | 1007 | Alto | Alto | Alto |
| | 1008 | Alto | Alto | Alto |
| | 1009 | Médio | Médio | Médio |
| | 1010 | Baixo | Baixo | Baixo |
| 11 | 1101 | Alto | Alto | Alto |
| | 1102 | Alto | Alto | Alto |

Fonte: Coutinho (2015).

7.4.1 - Grau de Risco à Inundação

A partir de relatos de antigos moradores, compreendeu-se se que a cidade se desenvolveu a partir das margens do rio Jaboatão, porém à medida que enchentes e inundações se tornavam recorrentes a população foi migrando das áreas planas, para as elevadas, ocupando assim as encostas. Tornando evidente que esse processo assola a região há anos e pouco foi feito para amenizar os seus impactos.

Os resultados deste mapeamento compõem um conjunto de informações que poderão servi de instrumentos futuros para a gestão municipal elencar ações e medidas a serem adotadas nas áreas. Assim, o grau de risco, alto foi verificado em 11 subsetores correspondendo a 55% da área estudada e risco médio em 9, equivalente a 45% da área. Não foram obtidos subsetores com grau de risco baixo. Apesar de algumas regiões exibirem suscetibilidade baixa, a vulnerabilidade influenciou neste resultado, especialmente a vulnerabilidade socioeconômica e cultural.

Desta forma, fatores como renda; nível de escolaridade baixo; ausência de liderança comunitária, e de pessoas treinadas para enfrentar situações de risco; somado aos agravantes dos problemas sociais identificados nas áreas, levam a crer, que mais urgente que as medidas estruturais, são a adoção de ações educativas relacionadas a risco, proporcionar momentos de integração da comunidade e instigar as mesmas a se organizarem e a elegerem representantes atuantes.

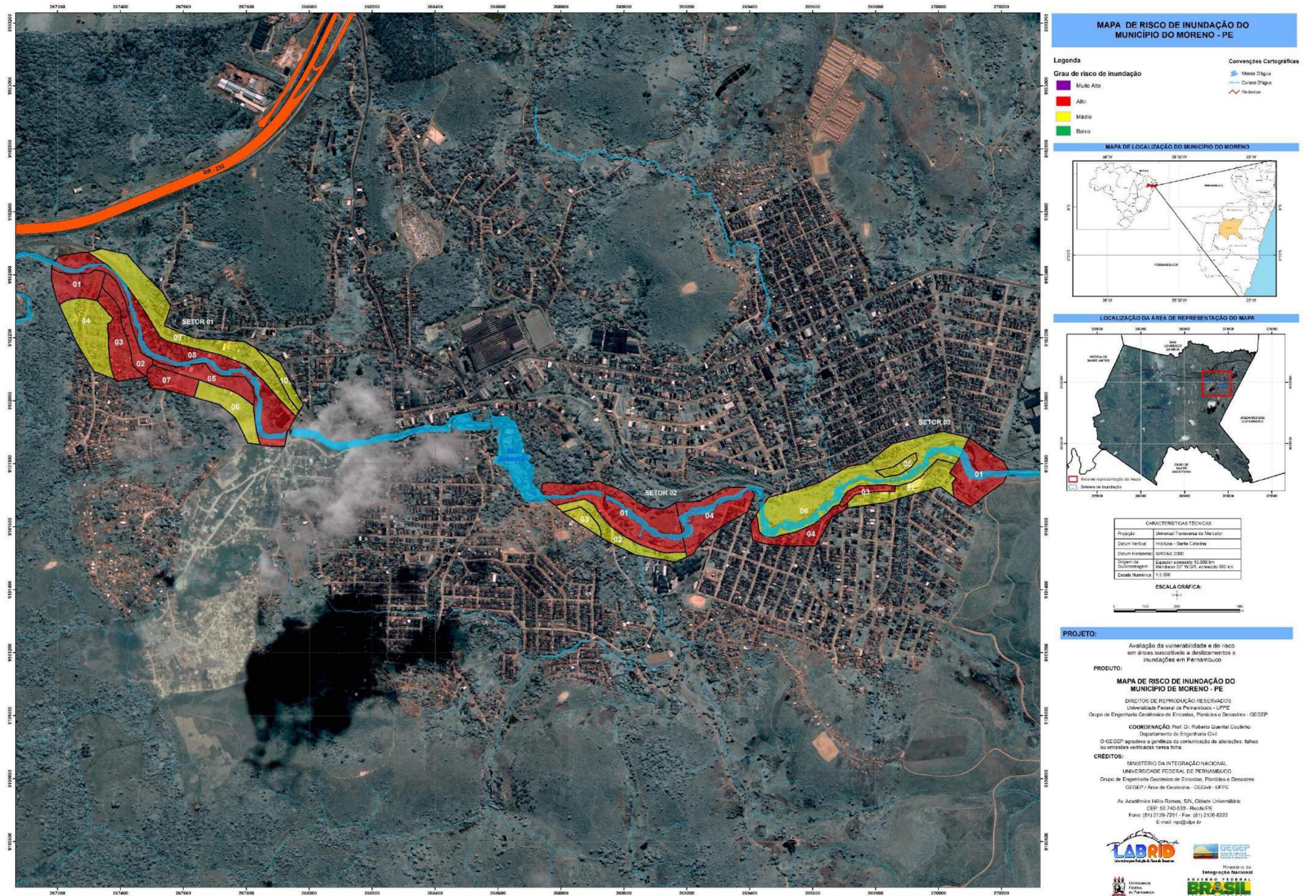
Na setorização realizada pelo CPRM, os 3 setores de inundação eram considerados de risco alto, porém com a metodologia adotada e o grau de detalhamento conseguido através da divisão em subsetores possibilitou identificar áreas de risco médio e alto.

Segundo Gomes e Cavalcante (2012), viver em um local de perigo, significa conviver com a insegurança e com as consequências de eventos desastrosos, que desestruturam a rotina, revelando postura de absorção passiva dos impactos, que reflete a inexistência de consciência do perigo, o que dificulta a preparação e aumenta a vulnerabilidade. Por ser uma experiência repetida, percebe-se que as vítimas de inundações tendem a embotar suas emoções, criando mecanismos de defesa que a distância do sofrimento inevitável diante das perdas.

Tominaga (2009) aponta que as ações voltadas à gestão dos problemas geoambientais requerem intenso planejamento territorial, organização institucional e participação da comunidade. Essas ações devem contemplar metas que respondam a diversas situações: antes, durante e depois dos eventos de inundações, enchentes e alagamentos.

A Figura 7.42 apresenta o mapa de risco à inundação do município de moreno.

Figura 7.42 – Mapa de risco à inundação do município de Moreno.



Fonte: GEGEP/UFPE (2015).

7.4.2 - Grau de Risco a Movimento de Massa

As áreas de morro encontram-se espalhadas por toda a cidade de Moreno e são densamente povoadas. É visível que a zona urbana está em processo de expansão e existem muitos espaços em potencial a serem ocupados. Os subsetores estudados abrangeram regiões com ocupações antigas, a áreas em pleno crescimento. Assim são necessárias reflexões acerca dos locais já existentes, bem como, a preocupação referente às novas áreas que surgem, tendendo a serem novos aglomerados desordenados.

Girão et al. (2007) apontam sobre a necessidade de planejamento do uso do solo urbano representando peça relevante em políticas de ocupação de novas áreas no perímetro urbano, sendo a avaliação quanto às áreas de risco de enchentes e movimentos de massa uma contribuição significativa ao planejamento e gestão do espaço. Ferreira Pinto e Garcia (2005) afirmam que é que mais fácil monitorar áreas identificadas como de risco para evitar sua ocupação futura, do que fazer com que aquelas ocupadas e que historicamente sofreram desastres, sejam desocupadas e abandonadas, isso porque devido aos processos sociais, que levaram essa parcela da sociedade desfavorecida a se instalar nessas áreas de perigo, estas criam memória com o lugar e tornam-se resistente a sua mobilidade.

O mapeamento realizado dialoga com esse cenário e busca trazer através dos seus resultados contribuições para essa dinâmica do espaço urbano do município. Neste contexto, foram identificados 8 subsetores com grau de risco muito alto, 25 de alto, 16 de médio e 1 de baixo.

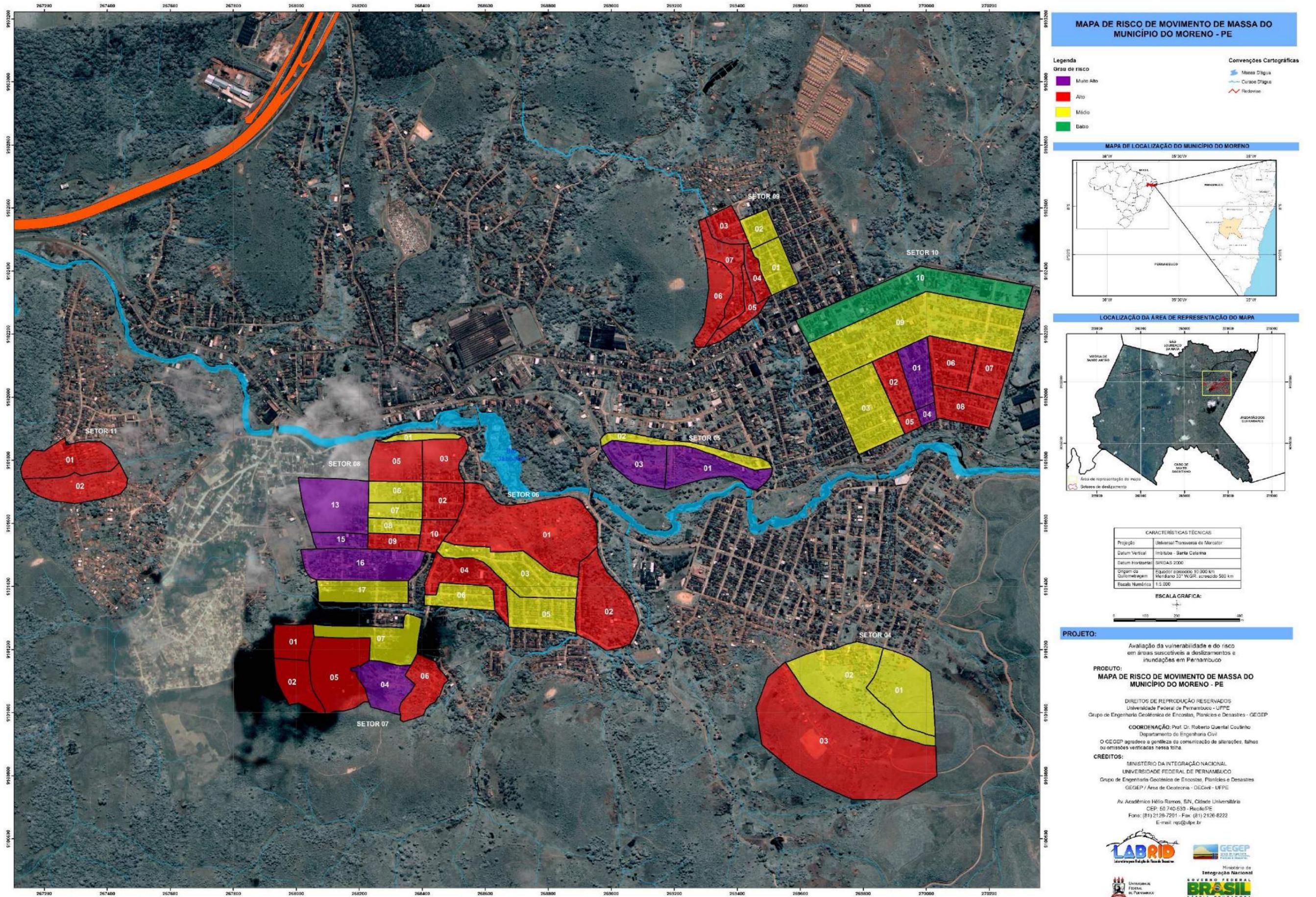
Os subsetores sinalizados como grau de risco muito alto, estão distribuídos entre os setores 5,7,8 e 10, conforme visualizado na Figura 7.43. Apesar de representarem 16% do total da área estudada para apenas esse tipo de processos, são locais que exigem atenção especial. Do aspecto da suscetibilidade atribuiu-se esse resultado principalmente ao indicador geomorfológico e ao de uso e ocupação do solo. Trata-se de locais íngremes; com padrões de curvatura propícios a ocorrência de processos de instabilidade; com grande quantidade de solo exposto o que favorece a ocorrência dos processos erosivos; apresentam poucas a inexistentes estruturas de contenção e muitos taludes de corte que alteram a geometria da encosta. Em relação à vulnerabilidade, as questões ligadas à alta densidade populacional; acessos precários; sinais de danos identificados; problemas sociais; ausência de líderes comunitário; baixa escolaridade; e grande concentração do grupo classificado como vulneráveis (crianças, idosos, portadores de necessidades especiais) todos esses aspectos colaboram para esse grau preocupante.

As áreas de risco alto corresponderam a 50% das áreas identificadas e dentre elas existem algumas candidatas a se transformarem em muito alta, portanto é de extrema importância ações para mitigação do risco. Nestas áreas, a suscetibilidade, especialmente pelo indicador de uso e ocupação do solo; e os de vulnerabilidade abrangendo as questões físico-ambientais e socioeconômicas e culturais contribuíram de forma significativa para esse resultado.

Os subsetores de risco médio estão localizados em regiões mais consolidadas da cidade, normalmente localizadas no topo e na base das encostas, onde os fatores de suscetibilidade e vulnerabilidade se suavizam diante do panorama de áreas mais bem organizadas em relação às anteriormente comentadas.

Apenas um subsetor (1010) localizado na área que foi expandida, além das delimitadas pela CPRM, apresentou grau de risco baixo, entre outros fatores devido a se concentrar na base de uma encosta, em uma região comercial da cidade, localizado próximo a estradas e ao hospital. O outro subsetor que também fez parte da expansão, o 1009 apresentou grau médio, atribuído principalmente a vulnerabilidade socioeconômica e cultural.

A CPRM ao estudar o município havia apontado que todos os setores sujeitos a movimento de massa, apresentavam grau de risco alto. Porém com o detalhamento da metodologia adotada pelo GEGEP/UFPE, foi possível identificar dentro destes setores, subsetores com grau de risco muito alto, e inclusive de grau médio. Apesar de salientar que a maioria continua demonstrando ainda grau alto. Informações como essas auxiliam a gestão municipal a priorizar ações de intervenção nas áreas mais críticas, sejam elas estruturais ou não estruturais.



7.5 - Avaliação da vulnerabilidade institucional do município de Moreno

Para Lázaro (2014) a relação entre a vulnerabilidade social e institucional se justifica devido a que os danos causados por calamidades naturais trazem impactos importantes sobre a estabilidade social e política. Da magnitude desses desastres e da qualidade da reação dos governos muitas vezes são derivados importantes crise política e social, o que sublinha a importância dos fatores político-institucional na consideração desta questão.

Com o objetivo de avaliar a gestão do município quanto às questões referentes ao risco, à avaliação da vulnerabilidade institucional constitui-se uma etapa deste trabalho que apresenta o entendimento da capacidade de prevenção e de resposta do município às ocorrências de desastres. Assim, com a aplicação de um formulário elaborado pela equipe técnica do GEGEP, estas informações foram coletadas com técnicos e secretários das: Secretaria de Saúde; Secretaria de Educação Cultura e Esporte; Secretaria de Obras, Serviços Urbanos, Cidade e Meio Ambiente; Secretaria de Trânsito, Segurança e Transporte (da qual a defesa civil está diretamente ligada); Secretaria de Desenvolvimento Social e Direitos Humanos. Pois se entende que a vulnerabilidade institucional não se resume especificamente apenas aos responsáveis da gestão de desastres (defesa civil, instituições de alerta, etc.). Ela deve ser abordada de forma ampla perpassando por diferentes gabinetes e secretarias, sendo disseminada de forma multidisciplinar entre as esferas políticas.

Cardona (2013, p. 05) evidencia que, a redução do risco busca intervir em grandes fatores de risco antes da ocorrência do evento. Ela pode ser levada a cabo através da redução da ameaça (por exemplo, se deslizamentos de terra ou inundações acontecerem) ou por controlar ou reduzir as vulnerabilidades físicas, componentes de infraestrutura exposta e vulnerabilidade social e da vida econômica da população. Nestes casos, as medidas estruturais podem estar envolvidas nos fatores de risco, tais como realização de obras de mitigação, ou não estrutural, no caso de campanhas de educação, regulamentação, normalização, planejamento e o ordenamento do território, entre outros.

Nas conclusões extraídas das discussões acerca das respostas contidas nos formulários, verificou-se a existência de precária integração entre as secretarias quanto ao tema desastres naturais. Observou-se que as respostas obtidas eram abrangentes e não específicas sobre a questão abordada, sempre respondiam de forma macro e pouco associava com o risco. Fato que de certa forma, contribuiu para mascarar alguns resultados da análise quanto à vulnerabilidade institucional. A exceção ao ocorrido ficou por conta da Defesa Civil que respondeu de forma objetiva ao questionário o que era de certo modo esperado. O município não possui Secretaria

de Defesa Civil, mais sim Coordenadoria de Defesa Civil, é composta por 5 pessoas, sendo um gerente (Nível superior), um coordenador (Nível técnico) e 3 estagiários (estudantes de graduação). Em relação a sua estrutura possuem um veículo pequeno e dois computadores com acesso a internet.

Segundo informações levantadas foi possível identificar que a Prefeitura de Moreno faz uso do seu Plano Diretor, e se apropria de leis, como é o caso da Lei de Uso e Ocupação do Solo e da Lei 12608/2012, possui Plano de Contingência; apresenta acesso a programas federais de apoio a prevenção, mitigação e resposta a desastre; realizam treinamentos e repasse de informações para a população sobre o que fazer em situação de emergência; possui cadastro de pessoas que moram em áreas de risco; realizam ações de prevenção e mitigação de riscos; acompanham e registram os acidentes ocorridos. Por outro lado o município não possui Plano de Gestão de Risco ou Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR); não possui Sistema de Informação Geográfica (SIG); não possui fundos para situação de emergência; não realiza estoques de alimentos, cobertores, colchonetes, kit higiene pessoal, para situações de emergência; não apresentam acervo e histórico de ocorrências de desastres anteriores e ações adotada, pois o Banco de Dados não foi repassado da gestão anterior para atual, sendo assim, possuem registro apenas das ocorrências a partir do início da gestão atual. Importante destacar que a descrição dos itens aqui explanados foi com base nas respostas dos técnicos e secretários dos órgãos municipais influentes nas ações de gestão do risco, havendo assim a possibilidade da não totalidade da coerência das informações obtidas com as condições existentes no Município.

Cardona (2013) evidencia que, planejamento de políticas e estratégias reabilitação pós-desastres e de reconstrução fornece aos governos as ferramentas necessárias para garantir a clara definição de papéis, responsabilidades e mecanismos de coordenação Inter-institucional e municipal, bem como para avaliar à frente de possíveis soluções de problemas críticos. Por exemplo, a satisfação de necessidades habitacionais, segurança e saúde da população afetada, rápida remoção e eliminação de detritos, reabilitação de serviços essenciais, avaliação e necessidades da população danos e a construção de novas casas, para além a oportunidade de incentivar processos adequados, planejamento e desenvolvimento que não se repitam os erros do passado, entre muitos outros temas.

No que estreita o relacionamento gestão do município e comunidade, foi observado tanto em campo como nos formulários aplicados junto aos gestores, que existe um distanciamento, que muito preocupa. Ficou evidente a falta de participação comunitária nas ações de risco. Não foram identificados líderes comunitários nas áreas estudadas, com isso a

comunidade não discute seus problemas e suas possíveis melhorias. É imprescindível que a gestão do município de Moreno, tome ciência da importância da inclusão da comunidade na gestão do risco.

Não há no município NUPDECs, (núcleos de defesa civil comunitário). De acordo com Henrique (2014) esse tipo de ação vem sendo utilizado com bastante êxito, provando que é um importante instrumento na redução de risco. Observa-se, por exemplo, a experiência do município do Recife, que hoje conta com NUPDECs e NUPDECs jovens, este segundo atuam diretamente na escola, construindo a cultura da prevenção ainda dentro das escolas. A criação de NUPDECs pode ajudar na criação desse canal de comunicação Gestão – Comunidade.

Quanto à defesa civil, foram observadas algumas carências, tais como: necessidade de aquisição de equipamentos, ampliar o quadro técnico, e de aumentar a sua estrutura física, pois atualmente ocupam uma sala dentro de uma secretaria. Constatou-se a inexistência de: setor de geoprocessamento, sistema de monitoramento e alerta, e realização de simulados de preparação. Mesmo diante das limitações é importante salientar que a equipe é atuante e engajada, presente nas comunidades, buscando solucionar os inúmeros desafios, sempre buscando se capacitar para trabalhar da melhor maneira possível.

Licco (2013) afirma que os governos podem promover políticas que reduzem vulnerabilidades e estabelecer estruturas administrativas encarregadas dessa redução; eles podem promover, apoiar, patrocinar esforços em educação e conscientização. Finalmente, podem fomentar as redes sociais e capacitar os indivíduos e as comunidades a se auto ajudarem nas situações de preparação e de resposta em caso de perigo.

7.6 - Intervenções para redução do risco

Baseada nas informações referentes à vulnerabilidade e suscetibilidade nas áreas estudadas ao longo desta pesquisa, é possível realizar um planejamento com medidas de intervenção, estrutural e não estruturais, com o objetivo de mitigar e prevenir o surgimento de novas áreas de risco dentro do Município de Moreno. A seguir são apresentadas algumas propostas.

I. Proposta de intervenções não estruturais

Este tipo de intervenção é formado por ações voltadas à orientação e prevenção às questões relacionadas ao risco. A partir das análises realizadas nesta pesquisa, verifica-se a necessidade de implantação das seguintes medidas não estruturais:

- ✓ Fiscalização para conter o avanço de ocupações desordenadas em áreas não recomendadas;

- ✓ Conscientização da população, com distribuição panfletos, cartilhas e realização de palestras;
- ✓ Introduzir a temática de risco nas salas de aula das escolas da cidade;
- ✓ Conscientização da importância do descarte correto do lixo e das águas servidas;
- ✓ Preservação da vegetação local;
- ✓ Orientações técnicas para construção das moradias, estruturas de contenção, esgotamento sanitário e microdrenagem superficial;
- ✓ As comunidades se organizarem e elegerem suas lideranças comunitárias;
- ✓ Criação de NUDEC nos bairros;
- ✓ Treinamento de moradores para situações de risco.

II. Proposta de intervenções estruturais

A escolha da melhor intervenção estrutural a ser implantada nas áreas de risco deve ser baseada na análise do processo atuante, nos fatores que o influenciam e nas características da área onde a obra será alocada. O projeto a qual esta dissertação está vinculada recomenda a sugestão de propostas de intervenção para áreas classificadas como risco alto e muito alto.

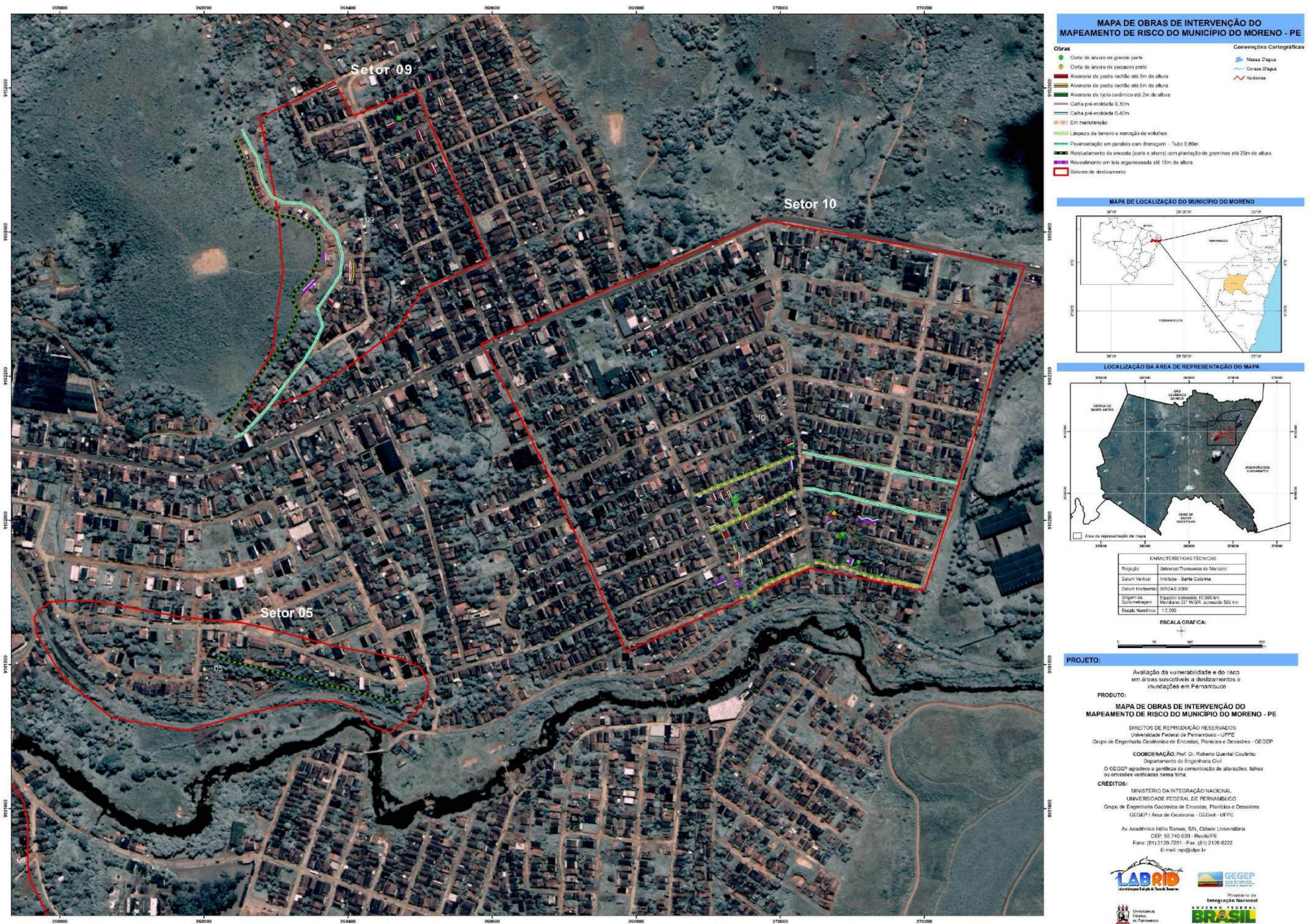
Assim foram escolhidos como exemplo os setores 5, 9 e 10 que apresentaram subsetores de riscos alto e muito alto. No setor 10 os subsetores 1001, 1002, 1004, 1005, 1006, 1007 e 1008 foram as áreas que mereceram uma atenção especial. Observou-se a tendência de pequenos deslizamentos que ocorrem atrás das edificações, associado ao alto grau de ocupação dessas áreas, não existe espaço para realização de grandes obras de intervenções. Diante deste quadro o mais indicado foi à adoção de obras pontuais, muros de gravidade associados a sistemas de microdrenagem, além da remoção de árvores em algumas situações. Devido à precariedade dos acessos foi indicada pavimentação de algumas ruas e limpeza e manutenção de escadarias.

No setor 9 os subsetores 0906 e 0907 receberam destaque por se tratarem de áreas de risco alto em expansão de ocupação. Assim foi sugerido para essas áreas o retaludamento em patamares de uma das suas encostas; implantação de microdrenagem para águas pluviais no topo, no pé e nos patamares; proteção superficial do solo com a aplicação de cobertura vegetal; implantação de esgotamento sanitário para correta destinação das águas servidas; além da pavimentação do seu principal acesso. No setor 5 os subsetores 0501 e 0503 estão inseridos numa face problemática da encosta, após muitas considerações chegou-se a conclusão que o retaludamento associado a um bom sistema de drenagem e proteção superficial do solo são as melhores opções para essa área. A Figura 7.44 ilustra a proposta de intervenção estrutural para

as áreas estudadas. O dimensionamento e posicionamento dos elementos propostos devem ser definidos com estudo detalhado do projeto de intervenção.

Para a execução do retaludamento nas áreas, recomenda-se a realização de estudo prévio de análise de estabilidade para definição da correta geometria final do talude. O dimensionamento da microdrenagem deve considerar dados pluviométricos da região, e a implantação de dissipadores de energia para redução da velocidade de escoamento da água pluvial, principalmente nas ocasiões de chuva intensa, reduzindo assim o desgaste dos elementos de drenagem.

Para os setores de inundação não foram indicadas obras, devido à complexidade e abrangência. Grande maioria dos projetos visam apenas os problemas pontuais, sendo esquecida a necessidade de se estudar a bacia de uma maneira mais ampla. Cada problema precisa ser avaliado para se determinar qual a obra mais eficaz, principalmente em relação aos processos e custos envolvidos. Todas estas obras necessitam de acompanhamento técnico especializado (BRASIL, 2007a). Esse aspecto fica como sugestões para próximos trabalhos.



7.7 - Potencial de resiliência das comunidades

A maioria dos estudos sobre cidades resilientes tem concentrado o foco na produção de sistemas físicos resistentes a desastres e outras adversidades. No entanto, os grandes responsáveis em efetivar a resiliência urbana serão as comunidades resilientes, que também devem ser o foco de estudos e pesquisas, pois cidades sem comunidades resilientes seriam extremamente vulneráveis e pouco sustentáveis (BARBOSA, 2013).

O GEGEP/UFPE vem buscando em suas práticas integrar o tema da resiliência. Assim este trabalho aborda de forma pioneira dentre as ações desenvolvidas pelo grupo, o potencial de resiliência das comunidades inseridas nas áreas de estudo.

As ações foram realizadas através de um formulário, desenvolvido pela equipe multidisciplinar que compõe o grupo. Assim, a abordagem foi feita por meio de entrevistas, com os responsáveis das moradias mais representativas dentro dos subsetores.

Desta forma, foram coletadas informações acerca de indicadores como: relacionamento e integração da comunidade; vivência de um desastre; percepção de risco a desastres; indicadores do potencial de apoio comunitário e gestão de risco e indicadores do potencial de gestão comunitária no enfrentamento a um desastre. Cada indicador é composto por uma série de perguntas e cada uma delas, conta com 4 alternativas de resposta.

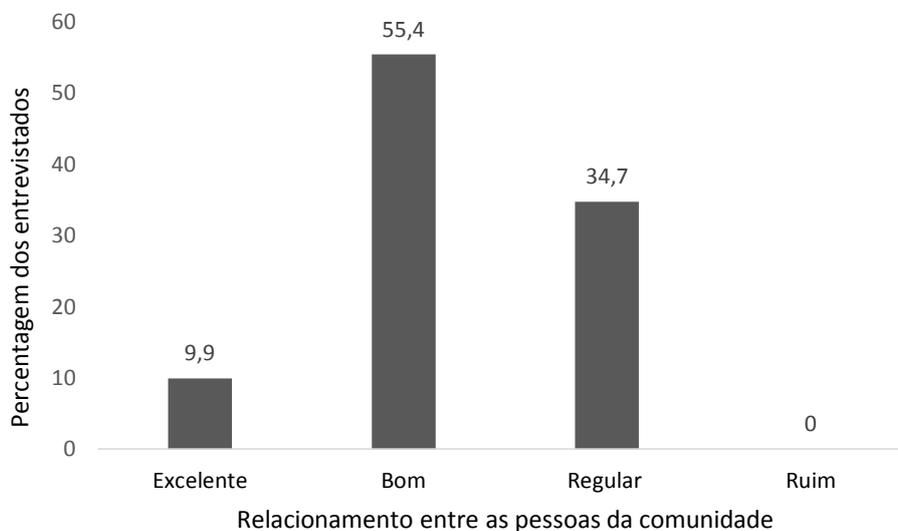
Os resultados foram analisados a partir da mensuração das respostas dos indivíduos entrevistados e da observação das condições encontradas em campo, destacando uma análise quantitativa e qualitativa, conjugada a uma reflexão bibliográfica a partir de estudos sobre o tema. A abordagem foi feita por meio de entrevistas, com os responsáveis de 121 moradias localizadas na área urbana da cidade considerando os setores no qual foi realizado o mapeamento de risco.

I. Relacionamento e integração da comunidade

Nesta perspectiva avalia-se o relacionamento interpessoal na comunidade. São feitas perguntas sobre: como é o relacionamento entre as pessoas da comunidade; como é o relacionamento entre o respondente e a comunidade; o sentimento do mesmo sobre a comunidade; a forma como ele avalia, que as pessoas enxergam a comunidade; se as pessoas costumam se ajudar nas dificuldades e se ocorrem eventos que promovam a integração entre os indivíduos.

De maneira geral os entrevistados classificaram o relacionamento entre as pessoas da comunidade e o seu relacionamento pessoal entre excelente, bom e regular, nenhuma das pessoas classificou como ruim (Figura 7.45).

Figura 7.45 – Representação de como os entrevistados consideram o relacionamento entre as pessoas da comunidade.



O sentimento em relação à comunidade variou entre bem-estar, 77,7% das respostas, 19% indiferença e 4% demonstraram sentir orgulho. Quando questionadas se costumam se ajudar nas dificuldades: algumas vezes e muitas vezes, foram às respostas. Sobre a ocorrência de ações que integrem a comunidade, quase que a totalidade (90,9%) respondeu como raramente/nunca e quando ocorre, 65% dos entrevistados, afirmam que a presença da comunidade é baixa.

Percebe-se que apesar de se destacar-se a questão de bem-estar na comunidade, no contraponto aparece uma baixa presença da comunidade em eventos que raramente acontecem, ou seja, transparece que não há um investimento por parte do poder público em oferecer instrumentos que agreguem as pessoas em volta de uma relação de pertencimento e prazer, o que poderá causar apatia e falta de integração ou corresponsabilidade com o universo local.

Integrar a comunidade na construção de uma cidade resiliente é fundamental para se garantir resultados mais exitosos em situações de desastres como por exemplo a participação da comunidade na formação de alternativas durante uma ocorrência de desastre.

Há de se considerar que na prioridade 1 do marco de Sendai, chama-se atenção para que a gestão pública enfatize:

Políticas e práticas para a gestão do risco de desastres devem ser baseadas em uma compreensão clara do risco em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens, características dos

perigos e meio ambiente. Tal conhecimento pode ser aproveitado para realizar uma avaliação de riscos pré-desastre, para prevenção e mitigação e para o desenvolvimento e a implementação de preparação adequada e resposta eficaz a desastres. (UNISDR, 2015, p. 10).

II. Indicadores do potencial de apoio comunitário e gestão de risco

No tocante aos Indicadores do potencial de apoio comunitário e gestão de risco foi avaliado o apoio que as organizações públicas (ex: Escolas, postos de saúde, creches) e privadas (ex: Religiosas, clubes e associações) prestam à comunidade; se a comunidade está organizada para encontrar soluções em conjunto diante das dificuldades; se a mesma é avisada da ameaça real de desastres e se nessas ocasiões os apoios institucionais estão presentes.

Nesta realidade, observa-se que a população participa de ações no campo da gestão pública, à medida que passa a ter a visão sobre o que representa a efetivação de direitos no contexto da comunidade e no tocante a comunicação sobre prevenção e gestão de riscos de desastres, à escola em sua função social, possibilita uma visão interdisciplinar e ao mesmo tempo crítica do processo. E por meio da escola, é possível haver uma integração de políticas públicas de modo a possibilitar a interface com diversos olhares que possibilitam intervenções permanentes e não pontuais, favorecendo a construção de percepções e estimulando a participação efetiva das pessoas.

Então, a partir do estudo, percebeu-se que as organizações que possuem relações mais estreitas com as comunidades são as de caráter religioso, escolas e postos de saúde, com destaque para as organizações religiosas, que apresentam uma maior participação e envolvimento da comunidade.

Quando questionados se a comunidade está organizada para encontrar soluções em conjunto diante das dificuldades, 62% das respostas obtidas foram raramente/nunca. Quando indagadas sobre a comunicação quanto à ameaça real de desastres 100% dos entrevistados alegaram que não existe qualquer tipo de comunicação ou alerta. Foi apontado por 92% dos entrevistados que os apoios institucionais só estão presentes quando acionados.

Considerando os princípios norteadores do Marco de Sendai,

a redução e a gestão do risco de desastres dependem de mecanismos de coordenação e intra e intersetoriais e com as partes interessadas em todos os níveis, exigindo também o empenho integral de todas as instituições públicas de natureza executiva e legislativa em nível nacional e local e uma articulação clara das responsabilidades de cada uma das partes interessadas públicas e

privadas, incluindo empresas e universidades, para garantir a comunicação, parceria e complementaridade de funções, bem como, responsabilidade e acompanhamento. (UNISDR, 2015, p. 08).

Cardona (2001, p.20) considera que, algumas das dificuldades para a gestão de risco eficaz tem sido a falta de uma abordagem global ao risco para facilitar a sua estimativa e a intervenção de uma perspectiva multidisciplinar. Em outras palavras, a ausência de uma teoria global de risco, a partir do ponto de vista de desastres conduziu ou contribuiu em parte para o problema crescer a uma velocidade maior do que a velocidade das suas soluções.

O que neste sentido, entende-se a importância de uma visão multidisciplinar do risco, buscando o fortalecimento das intervenções propostas pactuando-se com a população como ressalta o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), por meio do Projeto de Cooperação Técnica Internacional, realizado em 2012, que trata do Fortalecimento da Cultura de Gestão de Riscos de Desastres no Brasil, evidenciando que,

A participação da comunidade também ainda é muito limitada nos casos de desastres municipais, tanto no que se refere à prevenção e a mitigação dos riscos, quanto a preparação e respostas aos desastres. As comunidades ameaçadas pelo risco de desastre encontram-se muito distantes da gestão pública. Isso dificulta a construção de uma relação de confiança para a efetividade e sustentabilidade das ações locais e o acatamento de decisões impostas pela iminência de desastres, como é o caso da retirada da população ameaçada, de forma direta ou a partir de sistemas de alerta e alarme.

Assim, percebe-se que a gestão pública municipal, deve estar melhor preparada, considerando o princípio da resiliência na perspectiva institucional. Muitas vezes a falta de agilidade institucional no tocante às decisões a serem deflagradas em relação à mitigação dos riscos de desastres ou pela dificuldade de interação com a população resulta na ausência de credibilidade com relação às ações do poder público local.

III. Vivência de um desastre

No tocante as questões relacionadas a vivência de desastres, a pesquisa buscou indagar os entrevistados se já viveram a experiência de um evento adverso ou presenciaram alguém próximo que tenha sido vítima de processo de deslizamento ou inundação. E se diante desse fato, despertou algum interesse sobre o tema.

A Tabela 7.17 apresenta o número de entrevistados que tiveram a vivência ou observou a experiência de alguém próximo que foi vítima de movimento de massa, dos que informaram terem sido vítimas ou conhecer alguém próximo que foi atingido por inundação, e dos

entrevistados que responderam positivamente para a vivência relacionada aos dois tipos de processos.

Tabela 7.17 – Número de entrevistados que foram vítimas ou conhecem alguém próximo que foi vítima de movimento de massa e/ou inundação.

| Processos | Número de entrevistados | (%) do número de entrevistados |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Movimentos de massa | 25 | 20,7 |
| Inundação | 69 | 57,0 |
| Movimentos de massa e inundação | 27 | 22,3 |

Mesmo após o desastre, apenas 3,3% dos entrevistados disseram ter despertado interesse sobre o tema de risco. Porém, nenhum esboçou ter procurado maiores informações sobre o tema e muito menos ser voluntário e desenvolver trabalhos na comunidade relacionados a risco. Ou seja, mesmo exposto ao processo ou tomando conhecimento sobre alguém próximo, as pessoas continuaram indiferentes.

De acordo com Guimarães (2008) apud Farias, et al., (2013, p.09)

Explicita isto ao articular que os indivíduos devem deixar a vitimização, transformando-se em colaboradores, para que auxiliem no processo de reabilitação e reconstrução do ambiente afetado. É pertinente ao governo oferecer à população o devido preparo, conscientizando e alertando as possíveis eventualidades, buscando refletir em prol da diminuição do número de vítimas.

Nesse contexto, é importante evidenciar a importância de se realizar um trabalho de orientação junto à comunidade de modo que as pessoas passem a se sentirem integradas ao processo de superação quanto aos danos sofridos em situações de desastres, tanto em relação a sua realidade, quanto ao cenário da comunidade. Para que as pessoas possam se sentir pertencentes é fundamental que a gestão pública possa construir mecanismos que favoreçam a integração e participação efetiva dos cidadãos na formação de uma comunidade resiliente.

Corroborando com este debate, a Lei 12. 608 de 2012, que versa sobre a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, no artigo 8º, IX evidencia que uma das atribuições da gestão municipal é “manter a população informada sobre áreas de risco e ocorrência de eventos extremos, bem como, sobre protocolos de prevenção e alerta e sobre as ações emergenciais em circunstâncias de desastres”; O que fortalece a importância de se trabalhar na perspectiva da

sensibilização da população para o entendimento e a convivência com os riscos socioambientais existentes no meio ambiente local.

IV. Percepção de risco a desastres

Neste item foram abordadas situações hipotéticas de moradias em locais de risco alto e muito alto, onde existe a iminência de ocorrer um acidente. Após descrevê-las, os entrevistados classificaram o nível de segurança que eles sentem a cada uma das situações. Outro questionamento feito, foi em relação à própria casa do respondente e do local onde ele mora, perguntado como ele classifica o grau de risco, e qual o sentimento diante da possibilidade de um desastre.

Este é um item interessante de ser avaliado, pois retrata a intensidade a qual as pessoas se sentem expostas ao risco. Quando questionados quanto ao nível de segurança diante das situações hipotéticas, as respostas variaram entre pouco seguros, inseguros e em perigo, conforme visualizado na Tabela 7.18.

Tabela 7.18 – Nível de segurança sentido pelos entrevistados diante das situações hipotéticas de risco alto e muito alto.

| Nível de segurança em relação as situações hipotéticas de risco | Nº de entrevistados | (%) do número de entrevistados |
|---|---------------------|--------------------------------|
| Está seguro | 0 | 0 |
| Pouco seguro | 6 | 5 |
| Inseguro | 29 | 24 |
| Em perigo | 86 | 71 |

Porém quando perguntados sobre a sua casa e o local onde vivem 82% não se consideraram tão expostos, classificando o grau de risco da sua casa entre médio e principalmente, baixo. Curioso, pois as situações hipotéticas descritas se aproximam da realidade de muitas das moradias analisadas. Foram obtidas respostas como: “as barreiras são baixas”, “aqui nunca aconteceu”, “tenho medo, mas minha casa não é tão perto do rio”. A negação e o desconhecimento frente ao risco aumentam a vulnerabilidade individual e social. 18% foram os entrevistados que denotaram ter noção real da situação a qual estão submetidos. Ao terem consciência do risco de uma determinada área e ao serem indagados sobre a possibilidade de serem afetados por um desastre neste local, o sentimento registrado é de pavor e principalmente medo.

Ao mesmo tempo que Sendai evoca as nações para que se fortaleça processos focados na implementação de ações focadas na RRD, percebe-se ainda uma grande lacuna em nível

local de se conceber a importância da consolidação de políticas setoriais estratégicas visando a melhoria da qualidade de vida da população a partir da intersetorialidade de ações estruturais e não estruturais.

Nesse sentido ressalta “embora o papel dos governos nacionais e federais dos estados em facilitar, orientar e coordenar ações continue sendo essencial, é necessário habilitar as autoridades e comunidades locais para reduzir o risco de desastres, inclusive por meio de recursos, incentivos e responsabilidades de tomada de decisões, conforme apropriado”. (UNISDR, 2015, p. 08).

A escassez de ações focadas na orientação da população e estímulo a construção de uma percepção de risco representa um dos grandes problemas que se aponta, sobretudo, nas comunidades que apresentam riscos socioambientais. Atuar nesta perspectiva é um desafio constante para os gestores públicos considerando a responsabilidade legal com este propósito.

V. Indicadores do potencial de gestão comunitária no enfrentamento a um desastre

Neste fator são observadas as ações da comunidade para o enfrentamento do risco. São abordadas questões sobre se: a comunidade possui algum esquema ou forma de prevenção; se possui sistema de alerta; se apresenta rotas de fuga e abrigos, e se as pessoas da comunidade sabem o que fazer para evitar eventuais problemas de saúde decorrentes de desastres (Ex: leptospirose, vermes).

Em todas as comunidades entrevistadas os moradores alegaram não adotar medidas internas de: prevenção, alerta, desconhecem rotas de fugas e possíveis locais de abrigo. Quanto aos problemas relacionados à saúde, alguns citaram algumas medidas como: não engolir água, não andar descalço e não entrar na água “suja”. A única medida preventiva citada, foi ir a prefeitura solicitar lona.

Planos de preparação e resposta a emergências bem concebidos não apenas salvam vidas e propriedades, mas também contribuem frequentemente para a resiliência e para a reconstrução após o desastre, uma vez que os impactos tendem a ser minimizados. Os esforços de preparação e os sistemas de alerta e alarme garantem que as cidades, comunidades e indivíduos expostos a ameaças naturais e outras possam agir em tempo e de forma adequada para reduzir os danos pessoais, as perdas de vidas e os prejuízos às propriedades ou ambientes frágeis próximos. A sustentabilidade

pode ser alcançada se a comunidade e as autoridades locais compreenderem a importância e a necessidade das ações de resposta e preparação locais (UNISDR, 2012).

Licco (2013) afirma que os governos podem promover políticas que reduzem vulnerabilidades e estabelecer estruturas administrativas encarregadas dessa redução; eles podem promover, apoiar, patrocinar esforços em educação e conscientização. Finalmente, podem fomentar as redes sociais e capacitar os indivíduos e as comunidades a se auto ajudarem nas situações de preparação e de resposta em caso de perigo.

Analisando de forma mais ampla, apesar das relações interpessoais serem consideradas entre boas a regulares, na prática, a falta de real envolvimento entre as pessoas repercute no fato de que com isso a comunidade não discute seus problemas e suas possíveis melhorias. A ausência de lideranças comunitárias reconhecidas, e de NUPDECs agrava a fragilidade das mesmas diante de medidas e ações a serem tomadas no enfrentamento ao risco. Mas esses aspectos são compreendidos pelo simples fato de que, se as pessoas não apresentam percepção do risco a qual estão expostas suas próprias moradias, conseqüentemente não observam na comunidade. E mesmo após terem sido vítimas, muitas não adotam posturas de preventivas após o ocorrido. De acordo com Silva (2013) os componentes da comunidade devem reconhecer suas fraquezas e fortalezas, a fim de utilizar essas últimas como ferramentas para mitigar os primeiros. Bem como, alega que é fundamental uma organização comunitária, sendo um passo interessante para uma maior proximidade com todos os moradores e com os órgãos governamentais e as políticas públicas. Exemplo: organizar-se como NUPDEC. A partir de sua organização a comunidade precisa estar ciente dos recursos governamentais (nos três níveis de governo: municipal, estadual e federal) para prevenção, enfrentamento e recuperação dos desastres, como ter acesso a esses recursos e cobrar das autoridades a sua utilização adequada. Por exemplo: auxílio moradia, bolsa aluguel, verba para obras de intervenção etc.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Este capítulo apresenta um apanhado das conclusões retiradas desta pesquisa, bem como sugestões de novos trabalhos a serem realizados, afim de refinar ainda mais as informações obtidas a partir deste mapeamento.

8.1 - Conclusões

Os resultados alcançados nesta pesquisa, através da análise dos parâmetros envolvidos na determinação da vulnerabilidade e suscetibilidade/perigo, possibilitaram o conhecimento do risco a movimento de massa e inundação presente nos subsetores estudados. Os mapas e informações geradas podem ser utilizados pela gestão municipal como instrumento de planejamento urbano, indicando áreas prioritárias para execução de intervenções, sejam elas estruturais ou não estruturais.

8.1.1 - Metodologia do mapeamento de risco

A metodologia detalhada e envolvendo várias etapas e formulários demanda um certo tempo para ser executada, porém o grau de refinamento permite alcançar resultados que respondem bem as condições encontradas no campo. O fato de ter expandido o mapeamento para áreas além das delimitadas pela CPRM foi positivo, pois reforçou esse aspecto acerca da metodologia. Um dos aspectos a destacar é a presença significativa de fatores ligados a vulnerabilidade que são considerados nesta metodologia.

Em relação à vulnerabilidade na dimensão socioeconômica e cultural o indicador problemas sociais, que aborda temas delicados e que muitas vezes deixam os respondentes receosos. A metodologia indica que algumas informações sejam extraídas pela plataforma do IBGE, então sugere-se para novos mapeamentos que as informações sejam retiradas dessa base ou de levantamentos feitos pela prefeitura municipal. Pois neste trabalho os dados foram coletados diretamente em campo e observou-se essa dificuldade.

De maneira geral a metodologia para análise da suscetibilidade em áreas de movimento de massa se apresentou de forma satisfatória, a composição dos indicadores permitiu uma compreensão dos fatores de suscetibilidade associados a esses processos. As condições geomorfológicas associadas ao uso e ocupação do solo foram os indicadores que mais influenciaram o grau final de suscetibilidade.

Os dois métodos utilizados para obter o grau de perigo a inundação foram bem representativos sobre a área estudada. Entretanto eles variam em função do evento extremo considerado e com as características peculiares de cada município em que os mesmos são aplicados.

A vulnerabilidade estudada nos subsetores demonstrou a necessidade de maior conscientização e treinamento da população em relação ao risco existente, bem como, o fortalecimento das comunidades através das lideranças comunitárias. Ressalta-se a necessidade de maior fiscalização visto que áreas continuam a ser ocupadas desordenadamente pela população, podendo gerar novas áreas de risco.

8.1.4 – Caracterização da área de estudo

A caracterização geológica, geotécnica, geomorfológica e pedológica, foram fundamentais para a obtenção de importantes informações que influenciaram nos aspectos da suscetibilidade das áreas estudadas. Além de gerar mais informações para a base de dados do município.

De maneira geral, a área estudada é formada por colinas dissecadas e planícies de inundação. Foram identificadas 4 classes de solo: Neossolo Flúvico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo. Toda a área urbana encontra-se sobre Embasamento Cristalino composto de rochas do tipo Gnáissico-Migmatítico. Em relação as características geotécnicas do Setor 4 onde foram retirados os blocos, apresentou uma argila siltosa de baixa compressibilidade (CL), com plasticidade média.

Os ensaios de cisalhamento direto demonstraram que para o bloco retirado na base da encosta, considerado um solo residual jovem, a coesão foi de 8,34 kPa e ângulo de atrito 35° para o ensaio na condição inundada. O bloco retirado no topo, com características de um solo residual maduro e sob a mesma condição de ensaio, a coesão foi de 6,70 kPa e o ângulo de atrito de 26,3°, assim o solo da base apresentou uma maior resistência ao cisalhamento. Através do critério de classificação proposto por Reginatto e Ferrero (1973), o solo é considerado condicionalmente colapsível e de acordo com Jennings e Knigh (1975) o material é considerado problemático.

Os perfis de solo analisados nos setores 7,9 e 10 apresentaram predominância de solos do tipo argila siltosa e argila arenosa, apresentado principalmente camadas CL e MH e as plasticidades variando entre média e alta.

8.1.2 – Vulnerabilidade institucional e potencial de resiliência

Através de avaliação preliminar a vulnerabilidade institucional é considerada alta. De maneira geral a integração entre as secretarias sobre esse tema é baixa, e existe um certo distanciamento em relação a população. Com exceção da Coordenadoria de Defesa Civil que é sempre atuante dentro das áreas de risco, porém essa falta de integração dificulta ações mais amplas.

O potencial de resiliência das comunidades é baixo, não existe a mínima organização das mesmas para mudar essa realidade. Ações voltadas para conscientização e percepção do risco nessas áreas são importantíssimas. Bem como, incentivá-las a se organizarem e apresentar ferramentas que as conduzam a adotar medidas que as tornem resilientes.

8.1.5 - Resultados de vulnerabilidade, suscetibilidade/perigo e risco

A partir da metodologia e características da área, os mapas de risco a movimento de massa e inundação aqui apresentados, indicam a análise de 11 setores, subdivididos em 70 subsetores, abrangendo uma área total de 156,71 ha. Dentre os subsetores analisados, verificou-se a existência de 8 subsetores apresentando grau de risco Muito Alto; 36 subsetores apresentando grau de risco Alto; 24 exibindo grau de risco Médio. Para a área que foi expandida foram identificados: 1 subsetor apresentou grau de risco Baixo e 1 subsetor de risco Médio

Abordando de acordo com os processos atuantes, das áreas referentes à inundação, 11 subsetores apresentaram grau de risco Alto e 9 demonstraram grau Médio totalizando uma área de 43,56ha. Os subsetores relacionados a movimento de massa obtiveram 8 subsetores com grau de risco Muito Alto, 25 de Alto, 16 de Médio e 1 de Baixo, correspondendo a uma área de 113,15ha. Ao realizar a validação dos resultados obtidos com as características do campo, verificou-se que a representação da classificação do risco é coerente com a realidade dos subsetores.

As áreas de risco estão distribuídas por toda a cidade e conviver com o perigo é algo constante para a população do município, seja das regiões mais carentes as mais desenvolvidas é inegável o despreparo dos residentes para lidar com situações adversas caso ocorra um processo, seja ele de pequena a grande magnitude. A gestão municipal, bem como uma

população consciente das suas atitudes, são os principais agentes de mudança frente a essa fragilidade.

8.1.3 - Fatores associados a gestão de risco

No total foram apontados 103 elementos que podem ser utilizados no apoio a desastres em Moreno, entre espaços educacionais, religiosos, postos de saúde, hospitais, clubes e associações, segurança e socorro e órgãos públicos. Os elementos de interesse levantados na cidade são bem localizados em relação aos subsetores estudados e apresentam condições entre regular e satisfatórias para atender a população em caso de desastre.

As propostas de intervenção para os 3 setores de risco estudados, são apenas indicações de possíveis soluções para as áreas de risco alto e muito alto, porém para a sua execução são necessários estudos no local e elaboração de um projeto adequado.

8.2 - Sugestões para próximos trabalhos

Verifica-se a necessidade de maior conhecimento da geotecnia local destinada ao detalhamento das características do solo, nas áreas de ocorrência de processos de movimentos de massa, subsidiando assim a adoção de intervenções preventivas e corretivas nas áreas estudadas.

Sugere-se a realização de estudos de análise de estabilidade, para propor obras de contenção das encostas de forma mais coerente.

Realizar estudos de detalhes da bacia hidrográfica que corta a cidade a fim de propor as melhores obras a serem realizadas nos setores de inundação.

O grau de risco de cada local é sujeito a alteração em função das frequentes modificações provocadas pelas ações antrópicas ou pela própria evolução dos relevos e processos do meio físico causadores de desastres. Portanto, é importante realizar o acompanhamento da dinâmica das áreas de risco para que o mapeamento esteja em constante atualização, sendo considerado para propor soluções de mitigação em áreas prioritárias ao longo do tempo e para o controle da ocupação das áreas ainda não habitadas. Para a validação da suscetibilidade/perigo encontrada em cada subsetor estudado, sugere-se a elaboração de um mapa com a localização espacial das ocorrências.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 9604/86, Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986. 9 p.

ABNT. NBR 6459/84, Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984c. 6 p.

ABNT. NBR 7180/84, Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984d. 3 p.

ABNT. NBR 7181/84, Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984b. 13 p.

ABNT. NBR 6457/86, Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986c. 9 p.

AGS – AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY. Australian GeoGuides for slope management and maintenance. Australian Geomechanics Society, Australian Geomechanics, Vol 42 No 1, March 2007. Disponível em: Acesso em 14 de março de 2016

ALHEIROS, M. M. SOUZA, M. A. A., BITOUN J., MEDEIROS, S.M. G. M., AMORIM JÚNIOR, W. A. Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife. FIDEM, 2003. 384p.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, p. 1046-1049, nov/dez 2010.

AMUPE - Associação Municipalista de Pernambuco. Plano Emergencial para Redução de Riscos nos Municípios de Pernambuco. Suscetibilidade e Desastres Naturais e Mapeamento dos Riscos Hidrometeorológicos e Geológicos. Recife, 2010.

ARAÚJO, P. C. de. Análise da susceptibilidade a escorregamento: uma abordagem probabilística. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

BANDEIRA, A. P. Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, 209 p. 2003.

BATISTA, L. F. D. R. Estudo de indicadores de risco de inundação no município do Cabo de Santo Agostinho. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2015.

BARBOSA, R. M. R. Resiliência comunitária: superando vulnerabilidades e enfrentando desastres. 2013. Disponível em:

unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/download/4701/4568. Acessado em: 09 de junho de 2016.

BDE, BASE DE DADOS DO ESTADO. Perfil municipal de Moreno. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/>. Acessado em: 26 de dezembro de 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 4^a. ed. São Paulo: Ícone, 1999. Cap. 7, p. 68-93.

BERTONE, P; MARINHO, C. Gestão de riscos e resposta a desastres naturais: A visão do planejamento. In: CONGRESSO CONSAD DE GESTÃO PÚBLICA. Anais. Brasília, DF. 2013.

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

BIGARELLA, J. J. Processos erosivos, aspectos erosivos e denudacionais, erosão superficial, erosão em canais, ravinas e voçorocas. In: BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. 2^a Edição. ed. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, v. 3, 2007. Cap. 15, p. 884-939.

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. ABEP, Caxambú, MG. 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Gestão e mapeamento de riscos socioambientais: Curso de capacitação. 2010. 193p.

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

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Vulnerabilidade Ambiental. Rozely Ferreira dos Santos, organizadora. Brasília. 2007b. 192 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais / Celso Santos Carvalho e Thiago Galvão, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006. 111p.

BRASIL. LEI n. 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acessado em 11 de fevereiro de 2016.

BRASILINO, R. G.; MIRANDA, A. W. A. Caracterização litogeoquímica do Complexo Salgadinho na folha Santa Cruz do Capibaribe (sb-24-zd-vi), Província Borborema, Nordeste do Brasil. XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Gramado, RS. 2011.

BUSSO, C. (2002). Vulnerabilidad sociodemografica en Nicaragua: un desafío para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. Santiago de Chile. CEPAL/ECLAC. CAMAPUM, J. C. et al. (2006) Processos erosivos no Centro Oeste Brasileiro. Editora FINATEC.

CARDONA, O.D. Indicators for Disaster Risk Management. First Expert Meeting on Disaster Risk Conceptualization and Indicator Modelling, Manizales. National University of Colombia, March 2003.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M; MELO, M. T. S. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Universidade de Brasília. FINATEC, Brasília, 2006. 464 p.

CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional/ Departamento de Defesa Civil. 133 p. 1999.

CEPED UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina/ Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil. 2ª Ed. Revisada e ampliada. Florianópolis, 2013. 126p.

CEPED UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina/ Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Metodologia de avaliação de vulnerabilidade para mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações: proposta piloto em Santa Catarina, Florianópolis. Santa Catarina. 2014. 48 p.

CEPREDENAC – Centro de Coordinación para La Prevencioón de lós Desastres Naturales em Américas Central. La Gestión Local Del Riesgonociones y precisiones em torno al concepto y La práctica. Guatemala, 2003

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S.; SATO, A. M.; FERNANDES, M. C.; OLIVEIRA, R. R.; COSTA, R. V. C. da; BARBOSA, L. da S.; LIMA, P. H. M.; LACERDA, W. A. L. (2013). Metodologia para elaboração de cartas de suscetibilidade e risco a movimentos de massa (escala 1:5.000): aplicação na área central de Angra dos Reis (RJ). VI COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Angra dos Reis: ABMS, v. 1. p. 203-210.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 743-753, jul/ago 2003

COUTINHO, R. Q.; BANDEIRA, A. P. N. Gerenciamento de áreas de riscos: Ações estruturais e não estruturais. In: LACERDA, W. A.; PALMEIRA, E. M.; COELHO NETO, A. N.; EHRLICH, M. (Org.) Desastres Naturais: Suscetibilidade e Riscos, Mitigação e Prevenção Gestão e Ações Emergenciais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012, v.1, p. 163-178

COUTINHO, R. Q.; SILVA, M. M. Apostila de Estabilidade de Taludes. Desenvolvimento de material didático ou instrucional. Recife – Deptº de Eng. Civil - UFPE, 2006.

COUTINHO, R. Q.; SEVERO, R. N. F. Conferência: Investigação Geotécnica para Projeto de estabilidade de Encostas. In: V COBRAE. Anais, São Paulo – SP. 2009.

COUTINHO, R. Q. (Coord.). Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente a desastres naturais do município do Ipojuca, PE: relatório técnico final. Recife: Termo de Cooperação Ministério das Cidades e Universidade Federal de Pernambuco; GEGEP; UFPE, 2014.

COUTINHO, R. Q. (Coord.). Avaliação da vulnerabilidade e do risco em áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em Pernambuco. Relatório Técnico. Recife: Termo de Cooperação Ministério da Integração Nacional / Secretaria Nacional de Defesa Civil e Universidade Federal de Pernambuco; GEGEP; UFPE.2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Moreno, estado de Pernambuco / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Manoel Júlio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. - Landslide Types and Processes. In Landslides Investigation and Mitigation. Cap 2. (Eds.) – Turner, A.K Schuster, R.L. National Academy Press, Special Report 247. Washington, 1996, p. 337-370.

DEFESA CIVIL DE SÃO BENARDO DO CAMPO. Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>. Acessado em: setembro de 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA SOLOS. 3ª ed. Rio de Janeiro: 2013; 353p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos. Brasília, SPL. 1995; 101p.

EHRlich, M.; SILVA, L. F. M. da. “Sistemas de Contenção de Solos Reforçados” In: 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE, Rio de Janeiro. pp. 35 – 45. 1992.

FERNANDES, N. F. & AMARAL, C. P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES R. A. T.; VIEIRA, B.C.; MONTEGOMERY D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, UGB, 2001. Vol. 2, Nº 1. p 51-71.

FLAUZINO, B. K. Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. Dissertação, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Minas Gerais, 2012.

FREIRE, N. C. Vulnerabilidade x Resiliência em Cidades Brasileiras. Fundação Nacional de Saúde. IV SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA. Belo Horizonte. 2013. Disponível em:

http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/uploads/2013/05/Neison_Freire.pdf. Acessado em: 13 mar. 2016.

FERREIRA PINTO, S. A.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas São Paulo – SP, Revista do Departamento de Geografia – USP, V. 17 30-37, 2005

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. 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: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007.

GOMES, F. S. Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2001.

GOMES, E. R. B.; CAVALVANTE, A. C. S. Desastres naturais: perdas e reações psicológicas de Vítimas de Enchente em Teresina – PI. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010271822012000300025&lang=pt a. Acessado em: 26/05/2016.

GUERRA, A. J. T. Erosão e Conservação de Solos: conceitos, temas e explicações. Bertrand. Rio de Janeiro, Brasil, 1999. Cap.1, p.17-50.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Org.). Reflexões sobre a geografia física do Brasil. São Paulo: Bertrand Brasil, 2004.

GUIMARÃES, H. B.; BRAGA, R. A. P.; OLIVEIRA, T. H. Evolução da condição ambiental em fragmentos de mata atlântica na região metropolitana do Recife-PE. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 7, n. 2, 2012, p. 306-314.

HENRIQUE, H. M. Mapa de risco a deslizamento e erosão do bairro de Rurópolis, município do Ipojuca-PE. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco. 2014.

IPT. Relatório Técnico: Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco de deslizamentos e inundações do município de Louveira (SP). Louveira, São Paulo, 2013. 97 p.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. Ocupação de encostas. Coord. Cunha, M. A. São Paulo. 1991.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND J. Cidades e Inundações: Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI. Associação de Desenvolvimento Internacional ou Banco Mundial. Washington DC. 2012.

JTC-1 (Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes, da ISSMGE, IAEG e ISRM). Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de escorregamento. Disponível em: http://www.emtermos.com.br/abms/site/conteudo/JTC1_Portugues.doc. Acessado em: 24 de fevereiro 2016.

JENNINGS, J.E. e KNIGHT, K. (1957). The Additional Settlement of Foundations due to a Collapse of Structure of Sand Subsoils on Wetting. Proc. of the 4 and SSMFE, vol. 1, pp. 316-319.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B.; COUTINHO, R. Q. Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2167-2174, Dec. 2011.

LÁZARO, L. L. B. Desastres naturais e vulnerabilidade: caso do município de Petrópolis - Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: http://www.ess.inpe.br/courses/lib/exe/fetch.php?media=cstpopea:alunos:desastres_naturaisea_vulnerabilidade-lira.pdf. Acessado em: 29 de dezembro de 2015.

LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. Revista de Meio Ambiente, Saúde e Sustentabilidade. ISSN 1980-0894, Dossiê, Vol. 8, n. 1, 2013.

LOPES, E. S. S. Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2006.

LLOPIS TRILHO, G. Control de la Erosión y Obras de Desague. Manual de Estabilizacion y Revegetación de Taludes. Entorno Grafico S. L., Madri. (1999).

LEROUEIL, S. Geotechnics of Slopes Before Failure. In: IX International Symposium on Landslides". Rio de Janeiro. 2004, Anais. vol.2, p. 863-884.

MACEDO, E. S.; MIRANDOLA, F. A. Análise da classificação de risco de movimentos de massa utilizada no Brasil e proposta de melhoria nos critérios de decisão. III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana IPT, São Paulo, Brasil. 2016.

MACEDO, E. S. Desastres naturais: causas e consequências. Geociência. (São Paulo), São Paulo, v. 27, n. 1, jan. 2008. Disponível em: http://papegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-90822008000100022&lng=pt&nrm=iso. Acessado em: 01 de novembro de 2015.

MACEDO, E.S.; MARTINS, P. P. D. Análise do banco de dados de mortes por deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GELOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. Anais. São Paulo: ABGE, 2015. Cd rom. 7p.

MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

MARTINI L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. Geol. USP, Sér. cient. v.5 n.2 São Paulo mar. 2006.

MASKREY, A. Vulnerabilidad y Mitigación de Desastres. Taller sobre Community Based Hazard Mitigation. International Conference on Disaster Mitigation Program Implementation, Jamaica, 12-18 nov.

MENDES, V. A.; BRITO, M. F. L.; SANTOS, C. A. Zona de Cisalhamento Contracional de Palmeira dos Índios. Um possível Testemunho do Evento Cariris Velhos na Província Borborema. SIMPGEO. São Pedro, SP. 2009.

MITCHELL, J. K.; COUTINHO, R. Q. Ocorrência, Geotechnical Properties, and Special Problems of some Soils of America (Special Lecture). In: IX Panamerican Conference on Soil Mech. and Foundation Eng., 1991.v. IV. p. 1651-1742.

MORENO. Prefeitura Municipal. Coordenadoria Municipal de Defesa Civil. Plano de Contingência do Município de Moreno. 2015. 43p.

MOURA, R. B.; CANIL, K. Medidas estruturais adotadas em áreas de risco de movimentos gravitacionais de massa e sua contribuição para construção de cidades resilientes. III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana IPT, São Paulo, Brasil. 2016.

NUNES, A.L.L.S. Estabilidades de Taludes Rochosos em Estradas. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 6º Geosul'2008, ABMS, Florianópolis, Santa Catarina, Anais, p. 1-11.

NEVES, S.P. BRUGUIER, O., VAUCHEZ, A., BOSCH, D., SILVA, J.M.R., MARIANO, G., Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasileiro metamorphism in the East Pernambuco belt (Borborema Province, NE Brazil): Implications for western Gondwana assembly. Precambrian Research 149, 197-216. 2006.

NETO, A. R.; BATISTA, L. F. D. R.; COUTINHO, R. Q. Metodologias para geração de mapa de indicadores de perigo e áreas inundáveis: município de Ipojuca/PE. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 21, nº 2. Porto Alegre, abr./jun. 2016. p. 377-390.

O'RIORDAN, T. Precautionary Principle, in: Tolba, M. K. (ed): Encycloedia of Global Environmental Change, vol. 4. Chichester, UK: John Wiley. (2002).

PAULA, R. O. Análise das características físicas e geotécnicas de um movimento de massa gravitacional no Vale do Cuiabá, Petrópolis-RJ. Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. Geoinf: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maringá, v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013.

RAMOS, C. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território. (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. 2009. ISBN: 978-972-636-195-4.

REIS, P. E. O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011.

REGINATTO, A. R. e FERRERO (1973) - Collapse Potential of Soils and Water Chemistry. Proceedings of the VIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 2, pp. 177-183.

RODRIGUES, K. P. Método de avaliação de risco de deslizamento aplicado ao Morro da Carioca, Angra dos Reis – RJ. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROQUE, L. A. Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massas no núcleo urbano de Viçosa-MG. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

SAITO, S. M. Desastres naturais e geotecnologias - Vulnerabilidade - Caderno didático n ° 6. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / CRS. p. 9. 2011.

SANCHEZ, R. B.; JUNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; FILHO, M. V. M. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. Bragantina, Campinas, v. 68, 2009. p. 1095-1103.

SANTANA, R. G. Análise de soluções de engenharia para estabilização de encostas ocupadas na Região Metropolitana do Recife – PE. Estudo de caso: Ruptura ocorrida em encosta com ocupação desordenada na UR 2, Ibura. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2006.

SANT'ANA, K.D.A. Avaliação de susceptibilidade à erosão em áreas utilizadas para treinamentos militares: campo de instrução de Santa Maria (CISM). Dissertação de Mestrado (Geografia-Geociências), Santa Maria, 2011.

SANTORO, J. 2000. Análise da ocorrência de processos erosivos no município de Campinas (SP), a partir da interação entre a suscetibilidade natural à erosão hídrica e o uso e ocupação do solo. Rio Claro – SP. (Tese de Doutorado). IGCE-UNESP-Campus

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5 Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo. 2005. 92p

SANTOS, F. P. D.; BAYER, M.; CARVALHO, T. M. D. Compartimentação pedológica da Bacia do Rio dos Bois, municípios de Cezarina, Varjão, Guapó e Palmeira de Goiás (GO) e sua relação com a suscetibilidade e risco à erosão laminar. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 28, p. 103-124, jul/dez 2008.

SANTOS, K. A. Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude. Estudo de caso: bacia do rio Mundaú. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2013.

SAUSEN, T.M.; LACRUZ M.S.P. (orgs.) Sensoriamento Remoto para Desastres (2015), Editora Oficina de Textos, 288pp

SELBY, MJ. Hillslope: materials and process. Oxford. England: Oxford University Press, 1993. p.451.

SILVA, L. F. M. DA & EHRLICH, M. (1992) “Muros de Solos Reforçados com Geotêxteis – Uma Opção para Estabilização de Taludes” In: 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE, Rio de Janeiro. pp. 15-33

SILVA, F. B. R.; SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUZA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; 165 Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. 2010 LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; COSTA, L. G. M.; SILVA, C. P. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

SILVA FILHO A.F., GUIMARÃES I.P., VAN SCHMUS W.R. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas Complex, Borborema province, NE Brazil: Nd isotopic data from neoproterozoic Ganitoids. *Godwana Research*, 5(2):409-422. 2002.

SILVA, R. R. Proposta para estabilização de uma encosta ocupada em Camaragibe-PE com consideração de um tratamento global. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Recife, 2010.

SILVA, R. B. Comunidades resilientes. ABRAPEDE. 2013. Disponível em: <http://www.abrapede.org.br/wp-content/uploads/2013/02/Comunidades-resilientes1.pdf>. Acessado em: 19 de março de 2016.

SILVA, I. S. Desastres naturais no Brasil: ações adotadas pelo governo federal após 2011. Especialização. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

SDH/PR - Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República. Protocolo nacional conjunto para proteção integral a crianças e adolescentes, pessoas idosas e pessoas com deficiência em situação de riscos e desastres. Brasília, DF. 2013.

SRHE – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS. Atlas de Bacias Hidrográficas. Pernambuco, 2006. Disponível em: <http://www.srhe.pe.gov.br>. Acessado em: 29/12/2015.

SOUZA NETO, J.B. (2004). Comportamento de um Solo Colapsível Avaliado a Partir de Ensaio de Laboratório e Campo, e Previsão de Recalques Devido à Inundação (Colapso). Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 432p.

SUGUIO, K. Geologia sedimentar. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2003. 400 p.

TOMINAGA, L. K. 2007. Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. São Paulo, 2007. P. 220

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (org.). Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. Instituto Geológico, São Paulo, 2009.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 2003.

TWIGG, J. Características de uma comunidade resiliente aos desastres. 2 ed. Londres. 2009. 84p. Disponível em: http://www.academia.edu/6703093/Caracter%C3%ADsticas_de_uma_Comunidade_Resilient_e_aos_Desastres_NOTAS_DE_ORIENTA%C3%87%C3%83O. Acessado em: 25 de março de 2016.

UNISDR - THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva. 2009. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acessado em: agosto de 2015.

UNISDR - THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Como Construir Cidades Mais Resilientes Um Guia para Gestores Públicos Locais. Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres, Genebra, 2012. Disponível em: http://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf. Acessado em: 14 março de 2016.

UNISDR - THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Marco de Ação de Hyogo. 2005. Disponível em <http://www.defesacivil.pr.gov.br/arquivos/File/Marco/MarcodeHyogoPortugues20052015.pdf>. Acessado em: 28 de agosto de 2015.

UNISDR - THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015 – 2030. 2015. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/conferencia-de-sendai-adota-novo-marco-para-reduzir-riscos-de-desastres-naturais-no-mundo>. Acessado em: 03 de agosto de 2015.

USGS - Science for a Changing World. Landslide types and processes. US: Departamento of Interior, 2004. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>> Acesso em: 28 de janeiro de 2015.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, 2003. p.539- 546.

VEDOVELLO, R; MACEDO, E. Deslizamentos de encostas. In: SANTOS, R. F. (org.). *Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília, Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2007. p. 75 – 94.

ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espriado, São Pedro (SP), seus tipos e evolução entre 1972 - 2002. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 37, p. 414-425, junho 2007.