

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

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA  
E EROSÃO DO MUNICÍPIO DE IPOJUCA-PE**

**FERNANDA SOARES DE MIRANDA TORRES**

**Dissertação de Mestrado**

**RECIFE, 2014**

**FERNANDA SOARES DE MIRANDA TORRES**

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA  
E EROSÃO DO MUNICÍPIO DE IPOJUCA-PE**

**Dissertação apresentada à Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho, Coorientação do Geólogo Dr. Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Geotecnia.**

**Recife, 2014**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

- T693c Torres, Fernanda Soares de Miranda.  
Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do Município de Ipojuca - PE / Fernanda Soares de Miranda Torres. – Recife: O Autor, 2014.  
106f., il., figs., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2014.  
Inclui Referências.
1. Engenharia Civil. 2. SIG. 3. Suscetibilidade. 4. Movimentos de Massa. 5. Erosão. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Pfaltzgraff, Pedro Augusto dos Santos (Coorientador). III. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2014/ 275



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

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA E EROÇÃO DO  
MUNICÍPIO DE IPOJUCA-PE**

defendida por

Fernanda Soares de Miranda Torres

Considera a candidata APROVADA

Recife, 28 de fevereiro de 2014

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho  
(orientador)

---

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva - UFPE  
(examinador externo)

---

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior – UFRN  
(examinador externo)

**Dedico aos meus queridos pais Djalma e Quitéria.  
Ao meu esposo, Marciano, e minha filha, Maria Luiza.  
A toda minha família pelo apoio e compreensão.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e por tudo o que me proporcionou até hoje.

Aos meus Pais, Djalma e Quitéria, que me ensinaram a lutar pelos meus sonhos e valores que sigo até hoje.

Ao meu amado esposo, Marciano, pelo amor, companherismo e paciência por tudo o que passamos. A minha amada filha, Maria Luiza, razão da minha vida e que me inspirou todos os dias a lutar por essa realização.

A minha família, que sempre me incentivou e acreditou na minha capacidade para conquistar essa vitória.

Ao meu orientador, professor Roberto Quental Coutinho, pelos ensinamentos ministrados e pela oportunidade de aprendizado do conhecimento e das qualidades técnicas e acadêmicas de um profissional amplamente reconhecido, além de todo o acompanhamento ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, grande amigo e cunhado, que me ajudou no desenvolvimento e aprimoração deste trabalho.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, pela autorização para a realização e desenvolvimento desta dissertação.

Ao engenheiro José Wilson de Castro Temóteo, Superintendente Regional da CPRM - Recife, ao engenheiro Adriano da Silva Santos, Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial, a geóloga Melissa Franzen, Supervisora de Projetos, ao geólogo Breno Augusto Beltrão, Coordenador Executivo do DEGET, pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

Aos amigos Vanja Coelho Alcântara, Betânia Queiroz da Silva, Enjolras de A. M. Lima, Rogério Valença, Margarida Regueira, José Carlos da Silva, Hugo Ferreira, Janaína Merise, Ana Paula Rangel, Maria Angélica Batista, Miriam Xavier, Carlos Eugênio Arraes, Jessica Menezes e Glauco Leite de Freitas, pelas sugestões bem como, pelo incentivo e companherismo ao longo de todo o trabalho de desenvolvimento dessa Dissertação.

Agradeço a Dalvanise Bezerril pelas orientações e correção das referências bibliográficas.

A Universidade Federal de Pernambuco e seus professores que sempre foram bastante prestativos.

As meninas do PPGEC, Andrea, Claudiana, Cleide e Nilcéia pelas

orientações, apoio e paciência durante toda a elaboração do trabalho.

Ao GEGEP, pelo apoio e companheirismo de toda a equipe.

Aos professores Marcelo Reis e Olavo Santos, membros da Banca Examinadora pela participação, avaliação e contribuição ao trabalho.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram, incentivaram e principalmente acreditaram na realização desta Dissertação, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O Município de Ipojuca, em Pernambuco, devido ao grande crescimento econômico da região, principalmente nas proximidades do Complexo Industrial e Portuário de Suape, vem apresentando um desenvolvimento urbano acelerado e desordenado com uma ocupação indiscriminada de terrenos inadequados ou suscetíveis a algum tipo de movimento gravitacional de massa ou erosão.

Tendo em vista tais fatores, o presente estudo tem como objetivo a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão, na escala 1:25.000, utilizando as ferramentas de Sensoriamento Remoto e SIG (Sistemas de Informações Geográficas), para o Município de Ipojuca-PE, a fim de identificar, de forma eficiente, as áreas que apresentam suscetibilidade a movimentos gravitacional de massa e erosão que possam provocar danos e destruição de habitações em áreas urbanizadas, inclusive com a perda de vidas humanas.

Durante a elaboração da Carta, foi observado que 284km<sup>2</sup> (56%) da área do município apresenta suscetibilidade baixa, 148km<sup>2</sup> (31%) com suscetibilidade média e 59km<sup>2</sup> (13%) com suscetibilidade alta. As áreas mais críticas estão localizadas ao sul, próximo da praia de Porto de Galinhas, e ao norte, nas proximidades do Complexo Portuário e Industrial de Suape.

No mapa de inventário foram encontradas 695 cicatrizes de processos gravitacionais e erosivos, entre os quais 412 (59,28%) estão localizados nas áreas classificadas como alta suscetibilidade, 241 (34,68%) nas áreas com média suscetibilidade e 42 (6,04%) em áreas com baixa suscetibilidade.

A tessitura de uma Carta de Suscetibilidade é de grande importância para fornecer informações que possam subsidiar a elaboração de um planejamento urbano adequado dentro dos parâmetros do desejado desenvolvimento sustentável, considerando as características geoambientais do município, e objetiva delimitar a utilização de áreas mais seguras para instalações habitacionais e industriais, bem como balizar áreas suscetíveis a deslizamentos ocupadas ou não pela atividade antrópica.

**Palavras chaves:** SIG. Suscetibilidade. Movimentos de Massa. Erosão.

## ABSTRACT

The municipality of Ipojuca, in Pernambuco, due to high economic growth in the region, mainly near the Industrial and Port Complex of Suape, has demonstrated a rapid and disorganized urban development with an indiscriminate occupation of unsuitable land or susceptible to some kind of gravitational mass movement or erosion.

Considering these factors, this study aims at the making of the Charter of Susceptibility to Erosion and Mass Movements, scale 1: 25,000, using the tools of Remote Sensing and GIS (Geographic Information Systems) for the Municipality of Ipojuca-PE in order to identify, efficiently, areas that are susceptible to gravitational mass movements and erosion that can cause damage and destruction of housing in urban areas, including the loss of human lives.

During the drafting of the Charter, it was observed that 284km<sup>2</sup> (56%) of the municipal area has a low susceptibility, 148km<sup>2</sup> (31%) with average susceptibility and 59km<sup>2</sup> (13%) with high susceptibility. The most critical areas are located to the south, near the beach in Porto de Galinhas, and to the north, near the Suape Portuary and Industrial Complex.

In the inventory map 695 scars of gravitational and erosive processes were found, among which 412 (59.28%) are located in areas classified as highly susceptible, 241 (34.68%) in areas with average susceptible and 42 (6.04%) in areas with low susceptibility.

The making of a Letter of susceptibility is of great importance to provide information that can support the development of an appropriate urban planning within the parameters of the desired sustainable development, considering the geo-environmental characteristics of the municipality, as well as defining areas susceptible to landslides or not occupied by human activity.

**Key words:** GIS. Susceptibility. Mass Movements. Erosion.

## Lista de Figuras

Figura 1. Equação utilizada para quantificar o risco geológico de uma região	23
Figura 2. Estrutura para o gerenciamento de risco de deslizamentos	24
Figura 3. Processo de Queda de blocos no maciço rochoso	34
Figura 4. Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso	35
Figura 5. Deslizamento Translacional	36
Figura 6. Deslizamento Rotacional	36
Figura 7. Espalhamento Lateral	37
Figura 8. Corrida de Detritos	38
Figura 9. Corrida de Detritos (Avalanche)	38
Figura 10. Corrida de Terra	39
Figura 11. Rastejo	39
Figura 12. Consequências do uso inadequado do solo	42
Figura 13. Proteção oferecida pela cobertura vegetal ao solo	43
Figura 14. Erosão Hídrica pluvial	45
Figura 15. Localização do Município de Ipojuca	47
Figura 16. Crescimento anual da população entre os anos de 1996 a 2010	48
Figura 17. Precipitação média mensal das chuvas entre 1941 a 2013 no município de Ipojuca	49
Figura 18. Mapa Pedológico do Município de Ipojuca	51
Figura 19. Etapas realizadas durante a geração da Base Cartográfica	62
Figura 20. Metodologia aplicada na confecção da Carta de Suscetibilidade pelo GEGEP/UFPE (2014)	76
Figura 21. Correlação quantidade x tipo de cicatriz no município de Ipojuca	77
Figura 22. Mapa de cicatrizes dos movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca	78
Figura 23. Na parte inferior da foto, é observável deslizamento de solo na Formação Cabo (Kc)	79
Figura 24. Cicatriz de ravinamento provocada pelo escoamento hídrico no Complexo Gnáissico-migmatítico (Px)	79
Figura 25. Cicatriz de voçorocamento observada na Formação Barreiras (Nqb)	79
Figura 26. Correlação entre as unidades geológicas e a frequência das	81

cicatrices	
Figura 27. Distribuição dos tipos de cicatrizes nas unidades geológicas	81
Figura 28. Classificação tridimensional das vertentes	82
Figura 29. Correlação entre os intervalos de declividades com a frequência das cicatrizes	83
Figura 30. Distribuição dos tipos de cicatrizes nos intervalos de declividades	84
Figura 31. Correlação entre as classes do Uso da Terra com a frequência das cicatrizes	85
Figura 32. Distribuição dos tipos de cicatrizes para as classes de Uso e Ocupação da Terra	86
Figura 33. Relevo suavemente ondulado com cultivo de cana-de-açúcar	87
Figura 34. Extração de material de construção ampliando o gradiente do solo	87
Figura 35. Área exposta à erosão devido a extração de material para construção	88
Figura 36. Áreas alagadas naturais nas proximidades de Porto de Galinhas	88
Figura 37. Correlação entre as classes de solos com a frequência das cicatrizes	90
Figura 38. Distribuição dos tipos de cicatrizes para as unidades de mapeamento dos solos	90
Figura 39. Mapas temáticos utilizados na álgebra	94
Figura 40. Buffer inserido nos topos das colinas	96
Figura 41. Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca	97
Figura 42. Correlação entre os graus de suscetibilidade com a frequência das cicatrizes	98

## Lista de Tabelas

Tabela 01. Fatores Endógenos e Exógenos determinantes para a suscetibilidade a deslizamentos de encostas	27
Tabela 02. Fatores de Suscetibilidade	28
Tabela 03. Escalas de mapeamento de zoneamento de deslizamentos e sua aplicação	30
Tabela 04. Classificação abreviada dos movimentos de massa proposta por Cruden & Varnes, 1996	32
Tabela 05. Principais tipos de movimentos de massa em encostas	33
Tabela 06. Solos componentes das Unidades de Mapeamento dos Solos	64
Tabela 07. Correlação entre a suscetibilidade e os graus adotados	66
Tabela 08. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as vertentes	66
Tabela 09. Classificação do GRAU de suscetibilidade para cada tipo de solo encontrado nas unidades de mapeamento dos solos	67
Tabela 10. Classificação das Unidades de Mapeamento	69
Tabela 11. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as unidades litológicas	70
Tabela 12. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as classes do uso da Terra	71
Tabela 13. Características dos graus de uso e ocupação da terra	72
Tabela 14. Classificação do GRAU de suscetibilidade para os intervalos de declividade	72
Tabela 15. Matriz quadrada de correlação pareada	73
Tabela 16. Escala dos níveis de intensidade de importância	74
Tabela 17. Matriz de normalização dos critérios analisados	74
Tabela 18. Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada	75
Tabela 19. Frequência das cicatrizes no município de Ipojuca	78
Tabela 20. Correlação entre as unidades geológicas com a frequência de cicatrizes	80
Tabela 21. Área e percentual das cicatrizes para os intervalos de declividade	83
Tabela 22. Área e percentual das cicatrizes para as classes de uso e ocupação da terra	85

Tabela 23. Área e percentual das cicatrizes para as unidades de mapeamento dos solos	89
Tabela 24. Matriz de Correlação do Embasamento Cristalino	91
Tabela 25. Matriz de Correlação da Bacia Cabo	92
Tabela 26. Matriz de Normalização para o Embasamento Cristalino	93
Tabela 27. Matriz de Normalização para a Bacia Cabo	93
Tabela 28. Características utilizadas na classificação do Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e erosão	95
Tabela 29. Percentual de cicatrizes para cada grau de suscetibilidade	98

## Lista de Siglas

AHP	Analytic Hierarchy Process
Am's	Clima tropical monçônico
As'	Clima tropical (chuvas no Inverno)
C	Consequências Socioeconômicas
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONDEPE/ FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - UFRJ
CPRM	Companhia de Pesquisa e de recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)
ESo	Espodossolos
ET-ADGV	Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais
G	Gleissolos
GEGEP	Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies
GIS ou SIG	<i>Geographic Information System</i> ou Sistema de Informação Geográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Unesp
INCT/ REAGEO	Instituto Geotécnico de Reabilitação do Sistema Encosta Planície
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IR	Índice Randômico
Ka	Formação Algodóais
Kc	Formação Cabo
Ke	Formação Estiva
Kibs	Suíte Magmática Ipojuca – Basalto
Kiig	Suíte Magmática Ipojuca – Ignibrito
Kirl	Suíte Magmática Ipojuca – Riolito
Kitq	Suíte Magmática Ipojuca - Traquito
Kiv	Formação Ipojuca
LA	Latossolos

MDT	Modelo Digital do Terreno
MGM	Movimento Gravitacional de Massa
Nqb	Formação Barreiras
NVdf	Nitossolos
Ny2	Biotita-granito porfirítico
Ny3	Biotita-granito
Ny5	Quartzo Sienito
P	Possibilidade
PA	Argissolo
PNGRRDN	Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais
Proin	Programa de Incubadoras. UEG
Px	Complexo Gnáissico-Migmatítico
Qal	Depósitos Aluvionares
Qdfl	Sedimentos Flúvio-Lagunares
Qm	Depósitos de Mangues
Qp	Sedimentos de Praia
Qth	Terraços Marinhos Holocênicos
Qtp	Terraços Marinhos Pleistocênicos
R	Risco
RC	Razão de Consistência
RMR	Região Metropolitana do Recife
RQo	Neossolos
S	Suscetibilidade
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SM	Solos de Mangues
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
Unesp	Universidade Estadual paulista
USGS	United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos)
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
V	Vulnerabilidade
Zape	Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	16
1.1 Justificativas	17
1.2 Objetivos	18
1.3 Estrutura da Dissertação	18
<b>2. REVISÃO DO TEMA</b>	20
2.1 Introdução	20
2.2 Definições Básicas	20
2.3 Carta de Suscetibilidade	25
2.4 Classificação dos Movimentos de Massa	31
2.5 Erosão	40
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b>	47
3.1. Localização e Aspectos Socioeconômicos do Município de Ipojuca	47
3.2. Clima	49
3.3. Vegetação	49
3.4. Solos	50
3.5. Hidrografia	53
3.6. Geomorfologia	54
3.7. Geologia	55
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	59
4.1 Introdução	59
4.2 Sensoriamento Remoto	60
4.3 Modelo Digital do Terreno (MDT)	60
4.4 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	61
4.4.1 Base Cartográfica Planialtimétrica	62
4.4.2 Mapa de cicatrizes dos movimentos de massa e erosão	63
4.4.3 Mapa Geológico	63

4.4.4 Perfil Vertical e Horizontal das Encostas	63
4.4.5 Mapa de Solos	64
4.4.6 Mapa de Uso e ocupação da Terra	65
4.4.7 Mapa da Declividade	65
4.4.8 Determinação do GRAU de Suscetibilidade	65
4.4.9 Análise Hierárquica (AHP - <i>Analytic Hierarchy Process</i> )	73
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>77</b>
5.1 Mapa de Cicatrizes dos Movimentos de Massa e Erosão	77
5.2 Mapa Geológico	80
5.3 Perfil Vertical e Horizontal das Encostas	82
5.4 Mapa de Declividade	83
5.5 Mapa de Uso e Ocupação da Terra	84
5.6 Mapa de Solos	89
5.7 Matriz de Correlação	91
5.8 Carta de Suscetibilidade	94
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>100</b>

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado e desordenado das cidades, que geralmente ocorre sem observar as limitações do meio físico da região, gerou um grave problema de administração territorial nos grandes centros urbanos.

Esta elevada concentração populacional que foi conduzida para a periferia das grandes cidades, foi concentrada em áreas naturalmente inadequadas ou suscetíveis a algum evento natural, apresentando elevadas declividades e solos propícios aos deslizamentos que, em conjunto com a intervenção humana (desmatamentos, cortes e aterros irregulares, alterações nas drenagens, lançamento de lixo, etc.), pode resultar em prejuízos ambientais, materiais e principalmente sociais com a perda de vidas.

Este problema pode ser modificado através de um planejamento urbano adequado, em que o gestor deve possuir o conhecimento necessário para entender os limites e os recursos geoambientais da região.

“A Carta Geotécnica de Suscetibilidade voltada ao Planejamento Municipal deve permitir, em escala até 1:25.000, a ponderação do grupo gestor municipal para determinar metas e ações de desenvolvimento. Ela atende as determinações da Lei nº.12.608/12, de avaliações de suscetibilidade a processos que estabeleçam condições de ameaças, de forma a evitar ou reduzir sua ocorrência. Para tanto, essa carta deve subsidiar a incorporação de regras de ocupação nas leis e normas municipais (Plano Diretor, Código de Obras, dentre outras), fornecendo dados que contribuam para as diversas ações de planejamento municipal, tais como: indicação de áreas com restrição a loteamentos urbano-industriais; a escolha de áreas a proteger, visando à conservação de serviços ambientais;...” (Coutinho, 2013).

Com o grande desenvolvimento econômico impulsionado pelo Complexo Portuário e Industrial de Suape, o Município de Ipojuca está sofrendo um crescimento urbano desordenado, com uma ocupação indiscriminada de terrenos

inadequados a habitação. Devido à perda da cobertura vegetal, em conjunto com solos espessos, altas declividades e chuvas intensas, a possibilidade de movimentação de corpos de massa e erosão é iminente, necessitando de estudos adequados para a sua monitoração. Os problemas geológicos-geotécnicos relacionados na região estão vinculados à erosão, às enchentes e, principalmente, aos deslizamentos.

Devido à necessidade de se obter um conhecimento adequado sobre a região e com o intuito de ajudar os gestores a planejar a ocupação do município e prevenir a instalação de áreas de risco, este estudo definiu, na escala de 1:25.000, a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do município de Ipojuca, que descreve as áreas que apresentam uma probabilidade de ocorrência de algum evento natural que possa trazer prejuízos sociais e econômicos para a região e principalmente perda de vidas.

### **1.1 Justificativa**

A escolha deste tema é para mostrar que a geologia em conjunto com a engenharia, a chamada Geologia de Engenharia, através do estudo do meio físico e a avaliação dos processos naturais pode ajudar no planejamento de áreas mais seguras e identificar as que apresentam problemas para a habitação, levando em consideração as limitações ambientais da região.

O aumento da população urbana na Região Metropolitana do Recife (RMR) levou a criação de várias ocupações irregulares nas áreas da planície de inundação dos rios e nos morros, originalmente ocupados por canaviais, sem respeitar as características geológico-geotécnicas dos terrenos, resultando na criação de áreas em risco.

A ocupação urbana no Município de Ipojuca tende a aumentar devido ao crescimento econômico da região, resultando em um grande desafio para a política de planejamento da ocupação do solo, dentro dos parâmetros do desejado desenvolvimento sustentável. Assim, torna-se necessário o estudo geotécnico que possa orientar os gestores públicos na identificação das condições de risco nas áreas ainda não ocupadas e solucionar ocorrências dessa natureza já existentes no município.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é fornecer um melhor conhecimento das características geológico-geotécnicas do Município de Ipojuca, através da elaboração do Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão, na escala de 1:25.000, voltado, principalmente, para o auxílio dos gestores públicos no gerenciamento da ocupação urbana do espaço físico do município, em projetos de gestão e planejamento territorial de interesse de órgãos públicos ou privado.

Este trabalho pretende mostrar que o uso de ferramentas digitais como o sensoriamento remoto e o SIG podem auxiliar nos trabalhos geotécnicos e principalmente na redução de custo financeiro e uma maior difusão entre as prefeituras para o planejamento do uso e ocupação urbana do seu município.

O objetivo específico é a elaboração do Inventário de Cicatrizes de movimento de massa e erosão através da interpretação das imagens de satélite; correlação entre o inventário de cicatrizes e cada mapa temático elaborado pelo GEGEP/UFPE (2014); e a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho foi subdividido em 6 capítulos, que estão sucintamente descritos abaixo, com o intuito de facilitar a compreensão da metodologia que foi aplicada.

**Capítulo 1** – Introdução: Apresenta a introdução ao assunto escolhido para o desenvolvimento da pesquisa. Contém a Justificativa para a realização do trabalho e os objetivos a serem obtidos.

**Capítulo 2** – Revisão do Tema: Abrange a revisão bibliográfica, dando uma noção básica dos principais tipos de movimento de massa e processos erosivos, com uma resumida descrição das suas definições e descrições.

**Capítulo 3** – Caracterização da Área: Compreende os aspectos socioeconômicos e fisiográficos da área de estudo.

**Capítulo 4** – Material e Métodos: Relata os materiais e a metodologia utilizada no transcorrer da pesquisa.

**Capítulo 5** – Resultados e Discussão: Descreve e comenta os resultados

obtidos durante a aplicação da metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho.

**Capítulo 6** – Conclusões: Apresenta as conclusões e recomendações obtidas no trabalho desenvolvido.

Esta dissertação está vinculada aos projetos:

1. Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização no Município de Ipojuca, localizado na RMR, estado de Pernambuco. Convênio Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. Coordenação Prof. Roberto Quental Coutinho.

2. INCT/ REAGEO – Instituto Geotécnico de Reabilitação do Sistema Encosta Planície. UFPE/GEGEP – Coordenação Prof. Roberto Quental Coutinho. Sede: COPPE/UFRJ.

---

## REVISÃO DO TEMA

### 2.1. Introdução

A geologia de engenharia vem buscando, ao longo dos anos, um equilíbrio entre a sociedade e o ambiente em que vive. Ela mostra que a interação entre o condicionamento geológico-geotécnico e os limites ambientais é bastante frágil, e que o seu rompimento pode resultar em prejuízos materiais e humanos para a população.

Com o crescimento dos centros urbanos e a conseqüente concentração populacional desordenada durante as últimas décadas, houve um considerável aumento de desastres naturais no mundo. Esse fato impulsionou a necessidade de identificar as regiões suscetíveis a desastres naturais, prevendo a sua ocorrência e principalmente as conseqüências socioeconômicas que possa trazer.

### 2.2. Definições Básicas

- **Acidente (*Accident*):** “Fato já ocorrido, no qual foram registradas conseqüências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato (PROIN/CAPEP & UNESP/IGCE, 1999 *apud* REIS, 2001a). “Ocorre quando o acontecimento se efetiva, gerando danos” (RAHN, 1986 *apud* REIS, 2001a).
  
- **Desastre Natural (*Natural Disasters*):** Os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (TOBIN e MONTZ, 1997; UNDP, 2004 *apud* MARCELINO, 2008).

- **Evento (*Event*):** De acordo com Proin/Capes & Unesp/IGCE (1999 *apud* REIS, 2001a), pode ser classificado como um fato já ocorrido, no qual não foram registradas consequências sociais e/ou econômicas relacionadas diretamente ao fato. “É simplesmente uma ocorrência natural”. (RAHN, 1986 *apud* REIS, 2001a).
- **Erosão (*Erosion*):** De acordo com IPT (1986, *apud* SALOMÃO e IWASA, 1995 *apud* REIS, 2001b), “é um processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rocha, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos (plantas e animais)”.
- **Inventário de deslizamento (*Landslide inventory*):** Um inventário do local com tipo, volume, atividade, data de ocorrência e outras características de um deslizamento em uma área (FELL *et al.*, 2008).
- **Perigo (*Hazards*):** Uma condição com o potencial de causar uma consequência indesejável dentro de certo período de tempo. A descrição de um perigo de deslizamento deve incluir o local, volume (ou área), classificação (tipo) e velocidade dos deslizamentos em potencial e materiais destes resultantes, e a probabilidade de sua ocorrência dentro de um período de tempo determinado (FELL *et al.*, 2008).
- **Risco (*Risk*):** Uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, à propriedade ou ao 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 ampla de risco envolve uma comparação entre a probabilidade e consequências sem o cálculo do seu produto. Para Análise Quantitativa de Risco, o uso da intensidade do deslizamento é recomendado (FELL *et al.*, 2008).
- **Suscetibilidade (*Susceptibility*):** Possibilidade da ocorrência de um evento em um determinado local. São definidos dois tipos de suscetibilidades aos deslizamentos: a natural e a induzida.

A suscetibilidade natural deve ser medida com base nas propriedades geológicas e pedológicas, na morfologia (declividade, altura, extensão e perfil das encostas), na morfometria e distribuição espacial da drenagem nas microbacias.

Além disso, os fatores climáticos como a umidade e temperatura, e biológicos como a cobertura vegetal (com seus tipos e espécies diversas, densidade e grau de cobertura do terreno), fazem parte dessa avaliação.

Tominaga (1998 *apud* PFALTZGRAFF, 2007) avalia a suscetibilidade natural com base nas características do substrato geológico, na geomorfologia, nos condicionantes climáticos e na cobertura vegetal. Na avaliação da suscetibilidade induzida, a sua classificação utiliza as unidades e elementos contidos no mapa de uso e ocupação da terra.

Vale ressaltar que é de grande importância a distinção entre a suscetibilidade natural e a induzida, pois enquanto o estudo da primeira será utilizado como prevenção para o planejamento das áreas que ainda não foram ocupadas, a segunda mostra a probabilidade de ocorrência de algum risco provocado pelo uso antrópico.

➤ **Suscetibilidade de deslizamento (*Landslide Susceptibility*):** Uma avaliação quantitativa ou qualitativa do tipo, do volume (ou área) e da distribuição espacial de deslizamentos que existem ou potencialmente podem ocorrer em uma área. A suscetibilidade também pode incluir uma descrição da velocidade e intensidade do deslizamento potencial ou existente. Embora seja esperado que os deslizamentos ocorram com mais frequência em áreas mais suscetíveis, na análise de suscetibilidade o período de tempo (frequência) não é levado em conta de forma explícita. A suscetibilidade de deslizamento inclui deslizamentos cuja origem está na própria área de estudos e deslizamentos com origem fora desta área, nos casos em que ele pode se mover para dentro da área de interesse ou retroceder à área de estudo (FELL *et al.*, 2008).

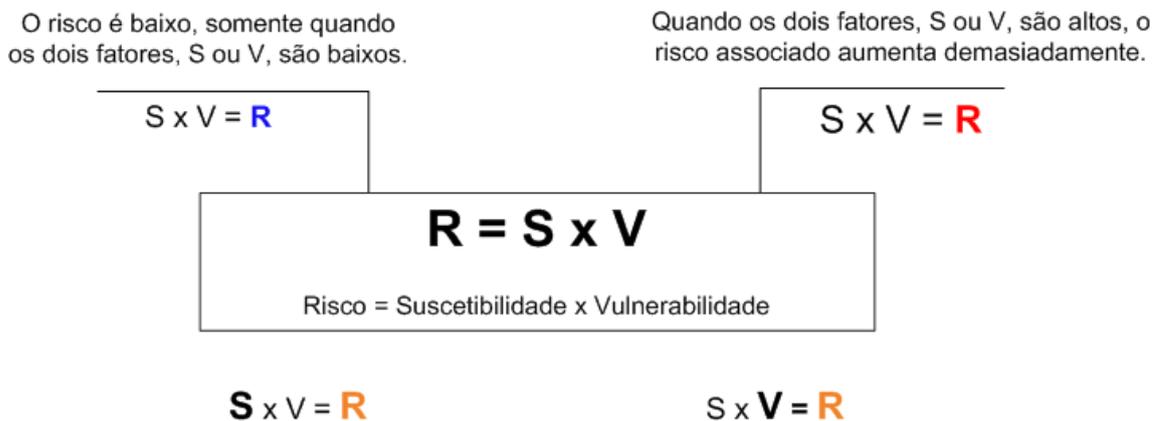
➤ **Vulnerabilidade (*Vulnerability*):** O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada pelo deslizamento. É expressa numa escala de zero (sem perda) até 1,0 (perda total). Para propriedades, a perda será o valor do dano relativo ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo deslizamento (FELL *et al.*, 2008).

Para poder quantificar e avaliar o risco de ocorrência de um evento natural em um determinado local deve-se medir o produto entre a possibilidade (P), também

chamada de suscetibilidade (S), e as consequências socioeconômicas (C), a vulnerabilidade (V), que ele possa causar.

A classificação no grau de risco de uma região é influenciada por diversos parâmetros, que variam de ambientais a sociais. Desta forma, é muito importante a avaliação e gerenciamento do risco geológico, que pode ser quantificado através do produto entre a suscetibilidade e a vulnerabilidade (Figura 1), e gerenciado com a sua caracterização, avaliação e monitoração (Figura 02).

Coutinho e Bandeira (2012a) apresentam trabalhos desenvolvidos no GEGEP/UFPE relativos a mecanismo de instabilização e metodologia/resultados qualitativos (UFPE-Ministério das Cidades) de avaliação e mapeamento de risco.



Quando somente um dos fatores, S ou V, é alto, o risco associado aumenta

**Figura 01. Equação utilizada para quantificar o risco geológico de uma região.**

**Fonte: Modificado de Reis, 2001c.**

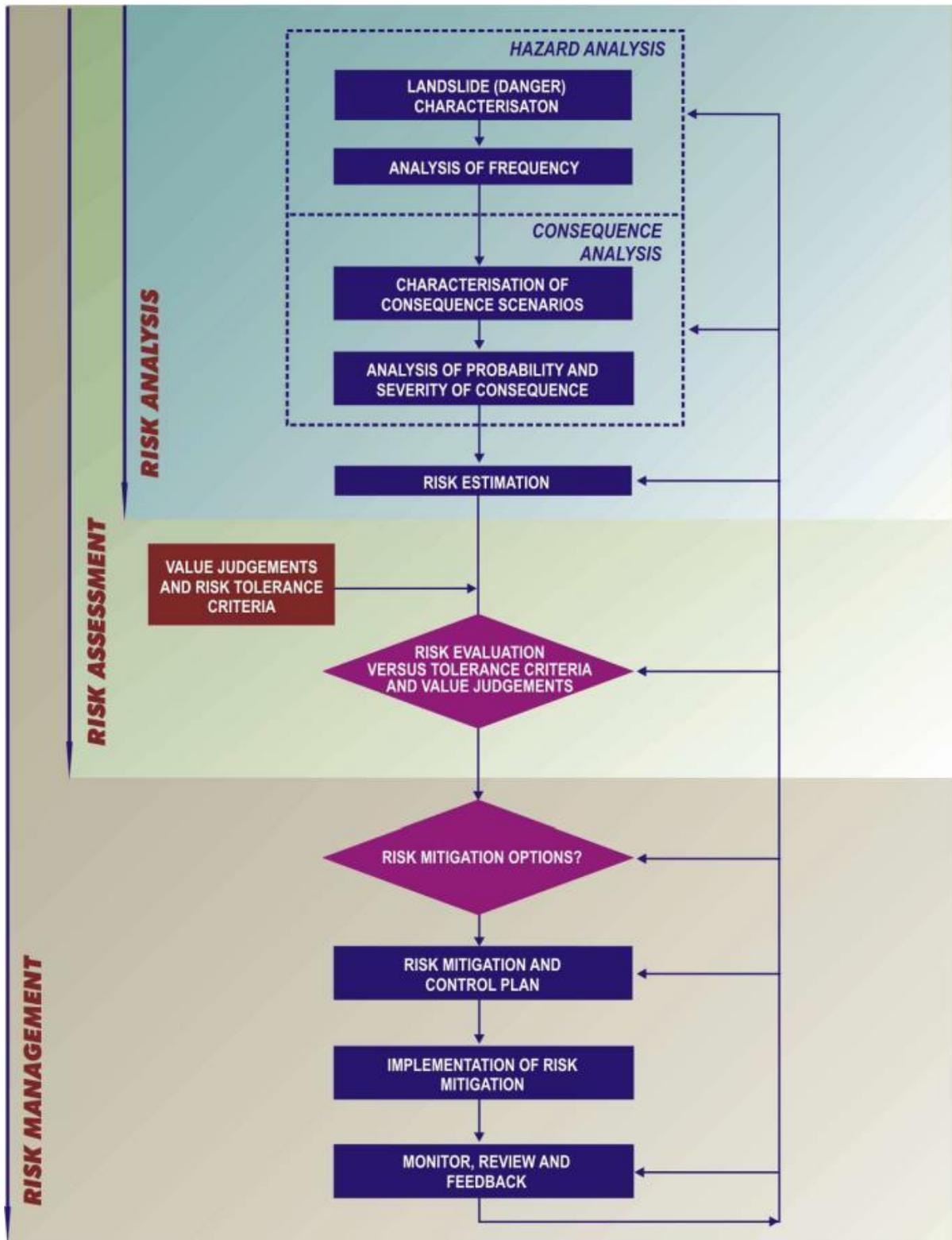


Figura 02. Estrutura para o gerenciamento de risco de deslizamentos. Fonte: Fell et al., 2008.

### 2.3. Carta de Suscetibilidade

A Carta de Suscetibilidade é um tipo de Carta Geotécnica, que reproduz espacialmente a possibilidade da ocorrência de um determinado fenômeno, onde o mesmo é classificado de acordo com o grau de risco que ele representa (BITAR *et. al.*, 1992).

Segundo Lopes (2000, *apud* PFALTZGRAFF, 2007), o Mapa (ou Carta) de Suscetibilidade é definido como um mapa geológico-geomorfológico, onde estão representadas as características do meio ambiente físico, de relevante importância para o planejamento do uso e ocupação da terra. A Carta de Suscetibilidade é a representação cartográfica da interpretação dos dados geológico-geotécnicos de uma região obtidos em campo, destinada a gestão territorial, durante os trabalhos de uso e ocupação da terra.

O objetivo da Carta de Suscetibilidade é informar sobre a possibilidade de ocorrência de um ou mais fenômenos geológicos geotécnicos e de comportamentos indesejáveis, pressupondo uma dada forma de uso do solo (NAKAZAWA *et. al.*, 1991; PRANDINI *et. al.*, 1995 *apud* REIS, 2001d).

Bitar *et. al.* (1992), com enfoque para uso urbano do solo, descreve que o seu objetivo é indicar a potencialidade de ocorrência de processos geológicos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso urbano do solo, expressando as suscetibilidades segundo classes de possibilidade de ocorrência.

O Serviço Geológico do Brasil - CPRM está elaborando Cartas de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação, em escala 1:25.000, para vários municípios em todo o país, inicialmente 100, para atender ao Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN), lançado em agosto de 2012. A metodologia adotada para a confecção da Carta de Suscetibilidade dos municípios selecionados segue a seguinte estrutura (BITAR, 2014):

1. Levantamento bibliográfico, elaboração de mapas temáticos (hipsometria, relevo sombreado, declividade (subdividida em 9 intervalos: 0-2°, 2°-5°, 5°-10°, 10°-17°, 17°-20°, 20°-25°, 25°-30°, 30°-45° e >45°), relevo, geologia, e estruturação da base de dados digitais;

2. Análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades aos processos do meio físico considerados; e a fotointerpretação de feições associadas aos processos analisados;
3. Composição em laboratório do pré-mapa de áreas suscetíveis;
4. Verificação e validação do pré-mapa de áreas suscetíveis em atividades de campo;
5. Revisão do pré-mapa e consolidação da carta síntese e da base de dados correspondentes.

A metodologia adotada neste trabalho difere parcialmente da aplicada pela CPRM e se encontra estruturada de acordo com o roteiro adotado pelo GEGEP – UFPE, descrito no Capítulo 4.

A suscetibilidade de um ambiente pode ser influenciada através de fatores endógenos e fatores exógenos (conforme mostrado na Tabela 01), como também por agentes indutores dos movimentos de massa, o regime de chuvas, sismos naturais ou induzidos e oscilações (naturais ou induzidas) do lençol freático.

As características do ambiente é que irão determinar o grau de suscetibilidade que a região pode ter a um evento ou risco geológico-geotécnico. Desta forma é fundamental o estudo do comportamento geológico, geomorfológico, hidrológico e climático do ambiente (Tabela 02).

O fator geológico representa os materiais sobre os quais ocorrem os processos. É influenciado pela litologia (tipo de rocha), textura (granulometria), estrutura (disposição espacial das camadas ou dos planos das fraturas e falhas).

O fator geomorfológico leva em conta as formas do relevo, onde a região mais suscetível apresenta alta declividade, amplitude de relevo e extensão, perfil côncavo-convexo e baixa sinuosidade.

**Tabela 01 Fatores Endógenos e Exógenos determinantes para a suscetibilidade a deslizamentos de encostas. Fonte: Modificado de Pfaltzgraff, 2007.**

<b>FATORES</b>	<b>ATRIBUTOS</b>
<b>ENDÓGENOS</b>	
Geológicos	Litologia e Estrutura
Geomorfológicos	Extensão, Altura, Perfil e Morfologia das encostas, Declividade, Drenagem
Pedológico	Granulometria, Mineralogia e Unidade Pedológica
<b>EXÓGENOS</b>	
Vegetação	Tipo de Vegetação e área vegetada
Clima	Temperatura, Umidade
Hidrológico	Água
Antropológico	Densidade populacional, Cortes, Aterros e Construções irregulares, Lixo, Vazamentos de água e esgotos

A vegetação é uma proteção natural para o solo, uma vez que provoca a diminuição da velocidade de escoamento e de infiltração da água da chuva, conseqüentemente mitigando a saturação do solo e os processos erosivos. Entretanto, a atividade antrópica pode causar danos a esta cobertura, como o desmatamento das encostas com a sua ocupação irregular.

Para o estudo geotécnico, o conhecimento do solo é importante para a avaliação da suscetibilidade. Sua formação é influenciada pela litologia, o tempo, clima e o ambiente em que se encontra.

O clima é um fator que pode influenciar alterando quimicamente a litologia, seja através da temperatura e/ou da umidade, resultando na decomposição da rocha. As chuvas podem ser cumulativas (soma das precipitações desde o início do período chuvoso) ou concentradas (valor da precipitação em 24 horas), que podem causar erosão, com o escoamento da água, ou saturação do solo, com a infiltração e lixiviação propiciando o umedecimento do mesmo.

No fator hidrológico, a água é o principal agente, e quanto maior a densidade da rede de drenagem e a concentração das linhas d'água, mais suscetível à erosão será a região. Lembrando que quanto maior a taxa de infiltração e a altura do nível

freático, maior a suscetibilidade do terreno para ocorrer deslizamento. Além disso, quanto mais arenoso for o material, e maior a infiltração e mais alto o nível freático, maior a probabilidade de erosão acelerada com a formação de voçorocas.

**Tabela 02. Fatores de Suscetibilidade. Fonte: Modificado de Alheiros, 1998.**

<b>FATORES DE SUSCETIBILIDADE</b>	<b>GEOLÓGICOS</b>	Litologia Textura Estrutura Pré-adensamento
	<b>MORFOLÓGICOS</b>	Altura da encosta Forma da encosta (perfil) Extensão da encosta Declividade da encosta Sinuosidade da encosta
	<b>CLIMÁTICOS</b>	Chuva acumulada Chuva concentrada Umidade Temperatura
	<b>HIDROLÓGICOS</b>	Densidade da rede de drenagem Concentração das linhas d'água Altura do nível freático
	<b>ANTROPOLÓGICOS</b>	Densidade populacional Frequência de cortes e aterros Taxa de solo exposto Focos de lançamento de águas servidas Número de fossas nas encostas Focos de lançamento de lixo

Segundo Gusmão Filho *et. al.* (1997), para a suscetibilidade induzida, a frequência de riscos mais altos é maior para os fatores antrópicos (como ocupações desordenadas e lixo), do que os fatores geológicos ou morfológicos. Os principais agentes são a densidade populacional, cortes, aterros e construção irregulares, lixo, pontos de vazamentos de água e esgotos.

De acordo com Coutinho e Bandeira (2012a), uma causa predisponente muito importante nas encostas com ocupação precária é a ação antrópica, que também pode ser um fator de causa acionante ou agravante. Nessas encostas é comum encontrar cortes verticalizados dos taludes, aterros mal compactados, taludes

desprovidos de cobertura superficial, lançamentos de águas servidas, fossas na borda dos taludes, vazamento de tubulações e acúmulo de lixo.

Coutinho e Bandeira (2012b) apresentam trabalhos desenvolvidos no GEGEP/UFPE relativos à metodologia e a resultados de “Gerenciamento de Áreas de Risco: Ações Estruturais e não Estruturais”.

De acordo com Varnes (1984), durante os estudos voltados para suscetibilidade, perigos e riscos geológicos, de deslizamentos, normalmente, são adotadas 4 prerrogativas:

- a) Os deslizamentos irão ocorrer dentro das mesmas condições geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e climáticas do passado;
- b) As principais condições causadoras dos deslizamentos são controladas por fatores físicos, identificáveis;
- c) O grau de perigo pode ser avaliado;
- d) Todos os tipos de ruptura de taludes podem ser identificados e classificados.

Desta forma, o estudo da suscetibilidade de uma região (carta de suscetibilidade) deve ser utilizado para a prevenção de movimentos gravitacionais de massa, levando em consideração onde e quando poderá ocorrer.

Para a elaboração de mapas de suscetibilidade, Aleottii *et al* (1999 *apud* PFALTZGRAFF, 2007) sugere que durante o desenvolvimento do trabalho, devem ser levadas em consideração (Tabela 3):

- a) Que escalas entre 1:100.000 e 1:500.000 deveriam ser utilizadas quando o objetivo for o planejamento regional;
- b) Escalas entre 1:25.000 e 1:50.000 são mais adequadas quando o objetivo for a implantação de grandes obras de engenharia;
- c) Escalas maiores quando o objetivo for o estudo de problemas localizados;
- d) A disponibilidade de dados.

**Tabela 03. Escalas de mapeamento de zoneamento de deslizamentos e sua aplicação. Fonte: Fell et. al., 2008.**

<b>Descrição da Escala</b>	<b>Variação Indicativa das Escalas</b>	<b>Exemplos da Aplicação do Zoneamento</b>	<b>Área Típica de Zoneamento</b>
<b>PEQUENA</b>	< 1: 100.000	Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral.	>10.000 km <sup>2</sup>
<b>MÉDIA</b>	1:100.000 a 1:25.000	Inventários de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte.  Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais.	1.000 – 10.000 km <sup>2</sup>
<b>GRANDE</b>	1:25.000 a 1:5.000	Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional.  Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	10 – 1.000 km <sup>2</sup>
<b>DETALHADA</b>	> 5.000	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário a avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	Muitos hectares ou dezenas de km <sup>2</sup>

## 2.4. Classificação dos Movimentos de Massa

O Movimento 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 (como citado acima). Dependendo das características da encosta pode ser lento ou muito rápido, podem ser de causas naturais, porém, a maior parte está relacionada à intervenção humana (PASSOS, 2010).

A mecânica dos deslizamentos é caracterizada pela ruptura das condições de equilíbrio de uma massa de solo, sedimentos ou rochas, em um talude natural ou de origem antrópica.

No geral, as classificações de movimentos de massa são baseadas na combinação dos seguintes critérios (COUTINHO & SILVA, 2006):

1. Cinemática do movimento: relacionada à velocidade, direção e sequência dos deslocamentos em relação ao terreno estável;
2. Tipo de material: solo rocha, solos e rochas, detritos, depósitos, etc., estrutura, textura e percentagem de água;
3. Geometria: tamanho e forma das massas mobilizadas.

Na Tabela 04, pode-se observar a versão abreviada de uma das classificações mais utilizadas no mundo, que foi proposta por Cruden & Varnes (1996 *apud* COUTINHO & SILVA, 2006), referindo-se a uma revisão da classificação proposta por Varnes (1978). Esta classificação é baseada no tipo de movimento e de material que foi transportado.

No Brasil, uma das classificações que se destaca é a de Augusto Filho (1992), onde os movimentos de massa são subdivididos em quatro tipos, sendo classificados de acordo com a dinâmica, geometria e material, como observado na Tabela 05.

Os fatores responsáveis pela ruptura desse equilíbrio podem ser de origem geológica (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.), climáticas, alterações do lençol freático e antrópicas (compactação do terreno aumentando o seu peso específico, vibrações

provocadas por explosões e tráfego de veículos pesados) ou devido a forças naturais como os terremotos ou tsunamis.

No desencadeamento dos movimentos das massas de solo, influenciam diretamente as características geotécnicas dos materiais (granulometria, coesão, ângulo de atrito, etc.), a cobertura vegetal, o relevo, a água (nas formas de chuva, drenagem superficial ou lençol subterrâneo) e a forma e ocupação das encostas. Em função da geometria, os deslizamentos são classificados em planar, rotacional e translacional.

**Tabela 04. Classificação abreviada dos movimentos de massa proposta por Cruden & Varnes, 1996. Fonte: Coutinho & Silva, 2006.**

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLOS DE ENGENHARIA	
			Predomínio de grossos	Predomínio de finos
QUEDA		Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de solo
TOMBAMENTO		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
DESLIZAMENTO	ROTACIONAL	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solo
	TRANSLACIONAL			
ESPALHAMENTO LATERAL		Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos	Expansões laterais de solo
FLUXO		Movimento lento / Corrida de rocha	Movimento lento / Corrida de detritos	Movimento lento / Corrida de solo

Tabela 05. Principais tipos de movimentos de massa em encostas. Fonte: Augusto Filho, 1992.

PROCESSOS	DINÂMICA / GEOMETRIA / MATERIAL
<b>RASTEJOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vários planos de deslocamento (internos);</li> <li>➤ Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade;</li> <li>➤ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</li> <li>➤ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;</li> <li>➤ Geometria indefinida.</li> </ul>
<b>DESLIZAMENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Poucos planos de deslocamento (externos);</li> <li>➤ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s);</li> <li>➤ Pequenos a grandes volumes de material;</li> <li>➤ Geometria e materiais variáveis:</li> </ul> <p>Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;            Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas            Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza</p>
<b>QUEDAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sem planos de deslocamento;</li> <li>➤ Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado;</li> <li>➤ Velocidades muito altas (vários m/s);</li> <li>➤ Material rochoso;</li> <li>➤ Pequenos a médios volumes;</li> <li>➤ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> </ul> <p>Rolamento de matacão            Tombamento</p>
<b>CORRIDAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Muitas superfícies de deslocamento;</li> <li>➤ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</li> <li>➤ Desenvolvimento ao longo das drenagens;</li> <li>➤ Velocidades médias a altas;</li> <li>➤ Mobilização de solo, rocha, detritos e água;</li> <li>➤ Grandes volumes de material;</li> <li>➤ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

## Tipos de Movimentos de Massa

Neste trabalho foi adotada a classificação dos tipos de movimento de massa segundo Cruden & Varnes (1996), consagrada internacionalmente e que foi citada anteriormente na Tabela 4.

### 1. Queda

A Queda é um movimento rápido de blocos e/ou lascas de massas de materiais geológicos, como pedras e pedregulhos, que se soltam de uma encosta íngreme ou maciço fraturado e caem na vertical pela ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre, como se observa na Figura 03.

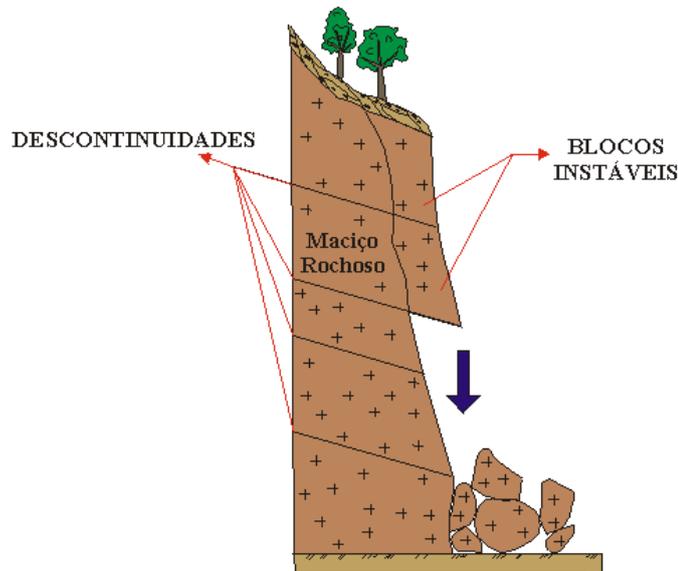


Figura 03. Processo de Queda de blocos no maciço rochoso. Fonte: Reis, 2001e.

### 2. Tombamento

O Tombamento é um movimento de rotação de blocos rochosos em áreas com encostas bastante abruptas, condicionado por estruturas geológicas subverticais no maciço rochoso. Pode ser provocado pela força gravitacional ou pela percolação de fluidos no material rochoso, que com o passar do tempo altera e desgasta a rocha, resultando no seu enfraquecimento e conseqüentemente o desprendimento de blocos das encostas (Figura 04).

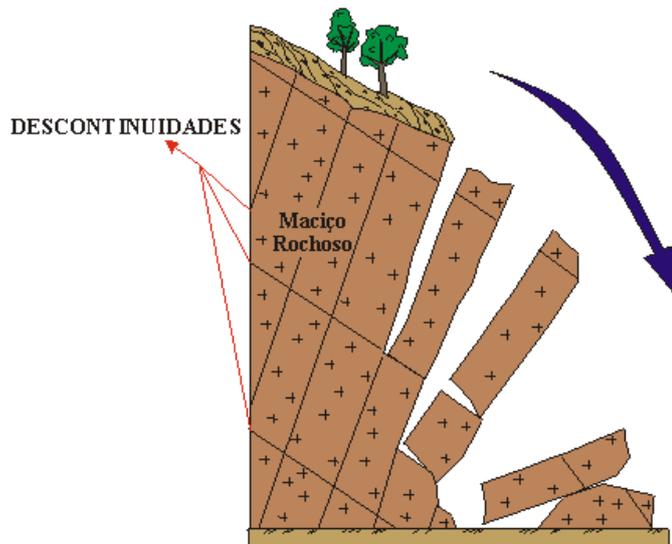


Figura 04. Processo de Tombamento de blocos no maciço rochoso. Fonte: Reis, 2001f.

### 3. Deslizamento

O termo Deslizamento é utilizado para caracterizar os movimentos com poucos planos de deslocamento, porém bem definidos, de curta duração e de velocidade média a alta, com pequenos a grandes volumes de material e uma geometria variável. Pode ser subdividido em: Translacional, que são típicos de camadas de solo pouco espessas, separadas por planos de fraqueza tais como, o contato entre duas camadas de solo de composições diferentes, e os Rotacionais, que são característicos dos solos mais espessos e homogêneos como os solos residuais.

No Deslizamento Translacional (Planar) (Figura 05), ocorre uma pequena movimentação de rotação em solos pouco espessos e em solos e rochas com um plano de fraqueza, resultando uma superfície de ruptura de forma planar a qual acompanha, geralmente, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no contato entre o substrato e o material subjacente, em casos de movimento em solo.



Figura 05. Deslizamento Translacional. Fonte: AGS, 2007.

O Deslizamento Rotacional (Figura 06) apresenta superfícies de deslizamento curvas, com o material não muito deformado e composto de uma ou mais unidades. Frequentemente está associado a encostas compostas por solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas.

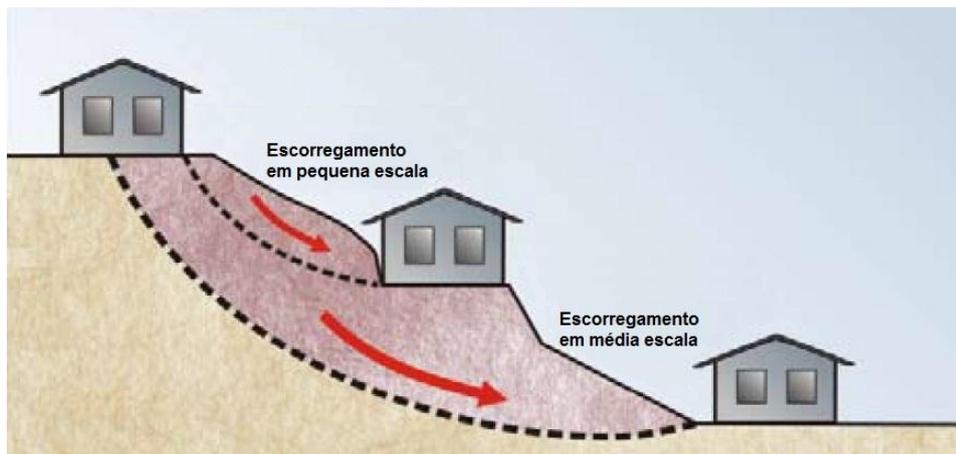


Figura 06. Deslizamento Rotacional. Fonte: AGS, 2007.

De acordo com Kobiyama (2006), os deslizamentos nas encostas urbanas vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nestes últimos anos. A principal causa é a ocupação desordenada de áreas que apresentam elevada suscetibilidade a deslizamentos.

#### 4. Espalhamento Lateral

O Espalhamento Lateral (Figura 07) geralmente ocorre em encostas muito suaves ou em terrenos planos, caracterizado pela ruptura e extensão lateral acompanhada por cisalhamento e fraturas de tração. Esta ruptura é causada pela quebra de resistência da camada subjacente, onde o material sofreu liquefação e os sedimentos que estavam em estado sólido passaram para um estado liquefeito. Vale ressaltar que em materiais de granulação fina, localizados em encostas suaves, o movimento geralmente é progressivo.

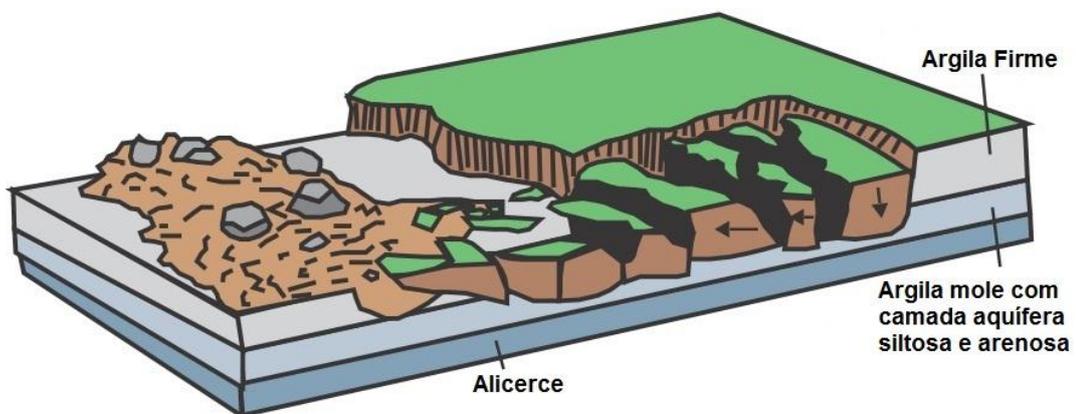
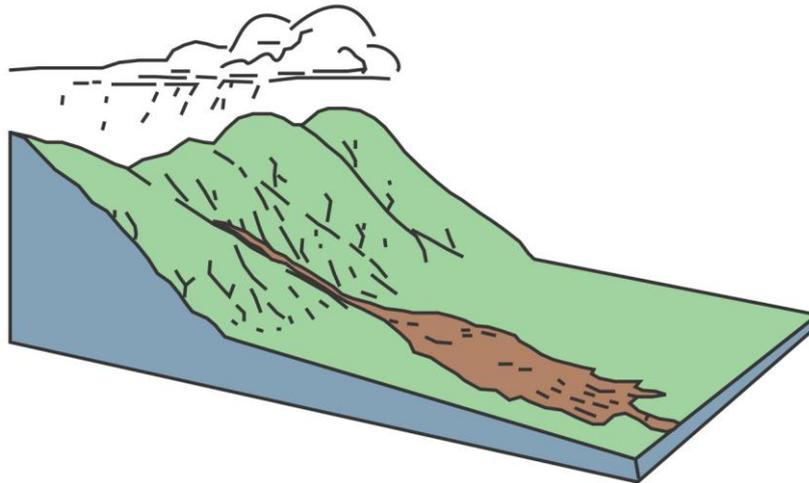


Figura 07. Espalhamento Lateral. Fonte: Modificado de USGS, 2004.

#### 5. Fluxo: Corrida e Rastejo

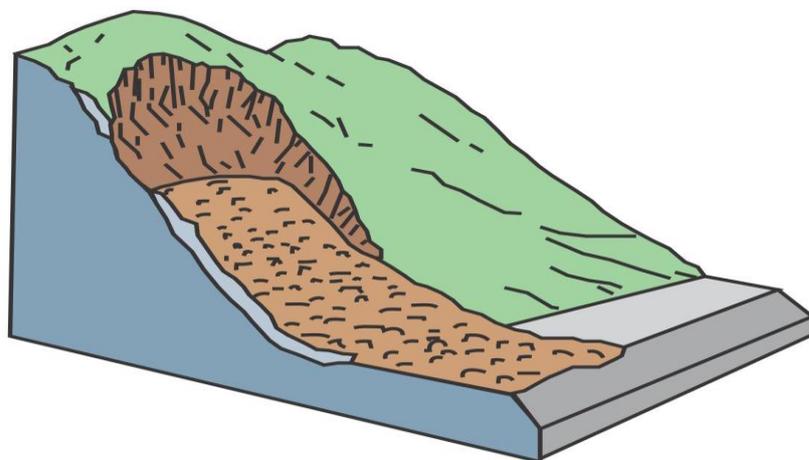
A Corrida de Detritos é um movimento caracterizado pelo escoamento de grandes volumes de material, com extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas, englobando solo, rochas, detritos e água, com velocidade de média a alta. Pode ser classificada em Corrida de blocos (rastejo profundo), Corrida de massa (solo e rocha) e Corrida de terra (Tabela 4).

É caracterizado pelo fluxo de detritos formados 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 (Figura 08).



**Figura 08. Corrida de Detritos. Fonte: USGS, 2004.**

A Avalanche é um tipo de corrida caracterizada pelo deslocamento do material rochoso com elevada velocidade, em locais bastante íngremes, na forma de um fluido de alta viscosidade devido ao grande teor de água contida (Figura 09).



**Figura 09. Corrida de Detritos (Avalanche). Fonte: USGS, 2004.**

A Corrida de Terra ocorre predominantemente com materiais de granulação fina ou argilosa em encostas moderadas e em condições saturadas (Figura 10). 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 de pedaços de rocha com fluxo intenso de lama, água ou solo, que podem ser catastróficos.

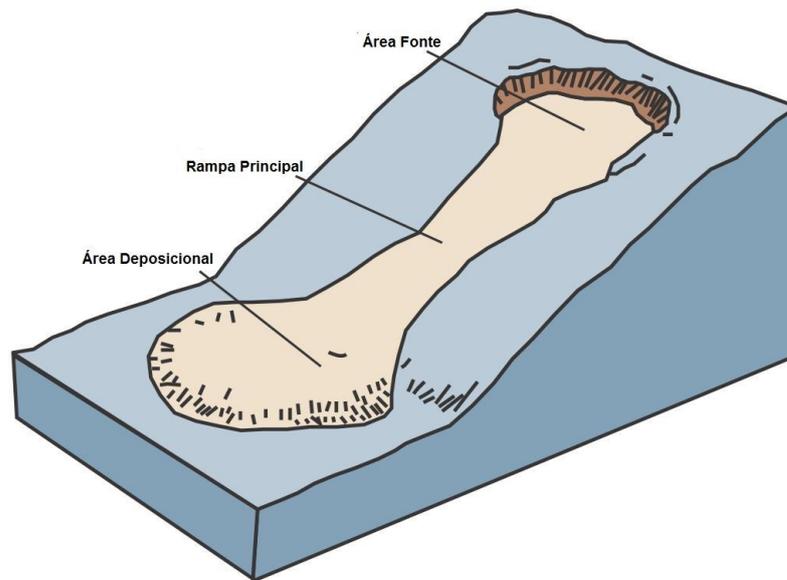


Figura 10. Corrida de Terra. Fonte: USGS, 2004.

O Rastejo é um movimento bastante lento e constante da massa de solo em direção ao pé do talude, onde o deslocamento superficial é imperceptível e pode variar em centímetros por ano. São denunciados através da paisagem com a inclinação de árvores, postes, cercas e muros tortos, ondulações no solo ou pequenos sulcos, rachaduras em casas e até rachaduras em estradas. (Figura 11).

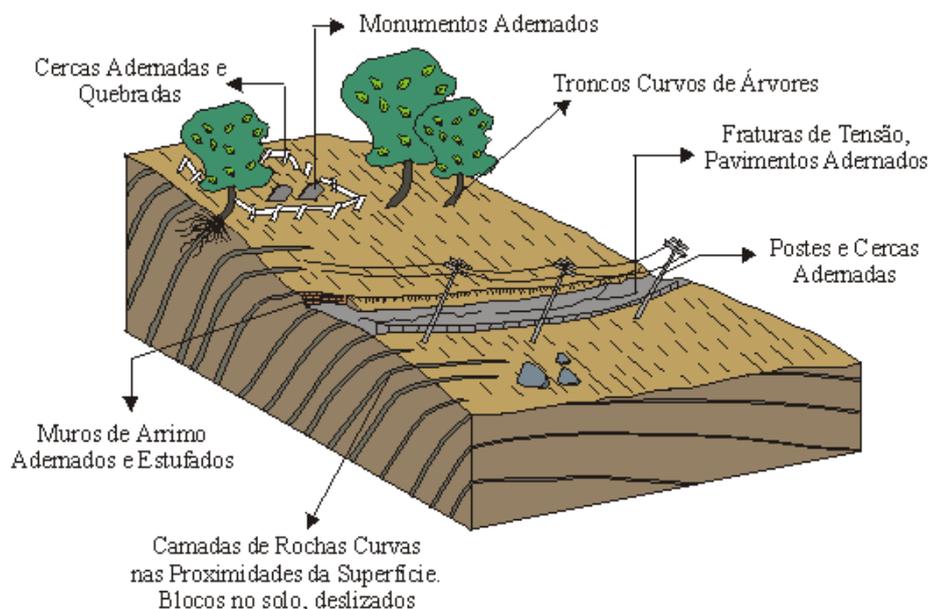


Figura 11. Rastejo. Fonte: USGS, 2004.

## 2.5. Erosão

Com o grande crescimento populacional da região ao longo dos anos, a expansão urbana vem provocando um desequilíbrio ambiental através do desmatamento. Como uma das principais consequências de destruição e uso e ocupação incorreta do solo, encontra-se a alteração do relevo terrestre, o assoreamento dos cursos de água e a erosão, que pode gerar situações de risco para a população.

A vegetação ajuda a manter o processo erosivo natural, porém, com a remoção desta cobertura através da ação antrópica, o solo fica desprotegido e vulnerável a erosão, tornando-a mais acentuada com as chuvas e com isso intensificando a remoção (criando feições nas vertentes como sulcos, ravinas e voçorocas) e interrompendo a formação do solo.

De acordo com Guerra *et al.*(1999 *apud* ARAUJO, 2006), a erosão é dividida em duas etapas: a primeira constitui na desagregação das partículas do solo e a segunda é caracterizada pelo transporte, desse material, realizado pelos fatores que condicionam o processo erosivo.

Nos ambientes tropicais, o processo erosivo mais observado é o hídrico, onde o processo de desagregação e transporte das partículas do solo é realizado pela ação da chuva (FARIAS, 1984 *apud* ARAÚJO, 2006).

Segundo Cooke e Doomkamp (1990 *apud* VIERO, 2004), a erosão hídrica ou erosão do solo pela água envolve dois importantes eventos sequenciais: a desagregação de partículas provocada notadamente pela erosão do impacto das gotas da chuva na superfície do solo e o seu subsequente transporte principalmente através da erosão por escoamento superficial.

Os processos de erosão podem ser considerados como Geológicos (Natural) ou Acelerados (Antrópicos).

A Erosão natural é caracterizada pelo equilíbrio existente entre a remoção do solo, provocada pela chuva, e a formação de um novo solo. Após longos períodos de tempo, este processo promove a modificação natural do relevo com o desenvolvimento de vales férteis, colinas suaves e planícies extensas.

Na Erosão Acelerada (Antrópica) ocorre o desequilíbrio entre a remoção e formação de um novo solo em consequência da urbanização desordenada e interferência antrópica.

De acordo com Iwasa & Fendrich (1998 *apud* MARTINS, 2005), o agravamento dos problemas erosivos está diretamente relacionado ao crescimento vertiginoso da população urbana, num processo de rápida urbanização, sem planejamento ou com projetos e práticas, de parcelamento do solo, inadequados e ineficientes.

A atuação lenta e contínua dos processos naturais modifica a forma do relevo, normalmente após longos períodos de tempo. Com a interferência antrópica, esse processo natural pode ser acelerado no tempo, ou como é mais frequente ter aumentado sua intensidade. Assim, o conhecimento do meio físico, solo, água e clima, suas potencialidades e limitações constituem a base técnica, sobre a qual o poder público deve estabelecer as medidas preventivas para o controle da erosão (COUTINHO & SILVA, 2006).

A erosão pode se manifestar de diversas formas: a erosão laminar que se caracteriza por escoamento superficial da água e se distribui pelas encostas de forma dispersa, não se concentrando em canais; a erosão em ravinas, formada quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta, tornando o fluxo turbulento e muitas vezes não tendo conexão com a rede de drenagem. A erosão em voçorocas, que pode ocorrer a partir da formação de túneis na subsuperfície com posterior colapso da superfície situada acima ou, a partir do alargamento e aprofundamento de uma ravina na medida em que esta evolui para um canal de água permanente (GUERRA *et al.*, 1999 *apud* ARAUJO, 2006).

#### ➤ Fatores Condicionantes

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. Para os fatores antrópicos, podemos destacar o desmatamento e as construções inadequadas.

##### I. Ação antrópica

A ocupação inadequada e desordenada estimula o desmatamento, construção e expansão de núcleos urbanos irregulares através de cortes e aterros inadequados, sistema de drenagem deficiente, entre outros. Todas essas ações

interferem e alteram o equilíbrio natural do solo, originando e aumentando a intensidade dos processos erosivos (Figura 12).

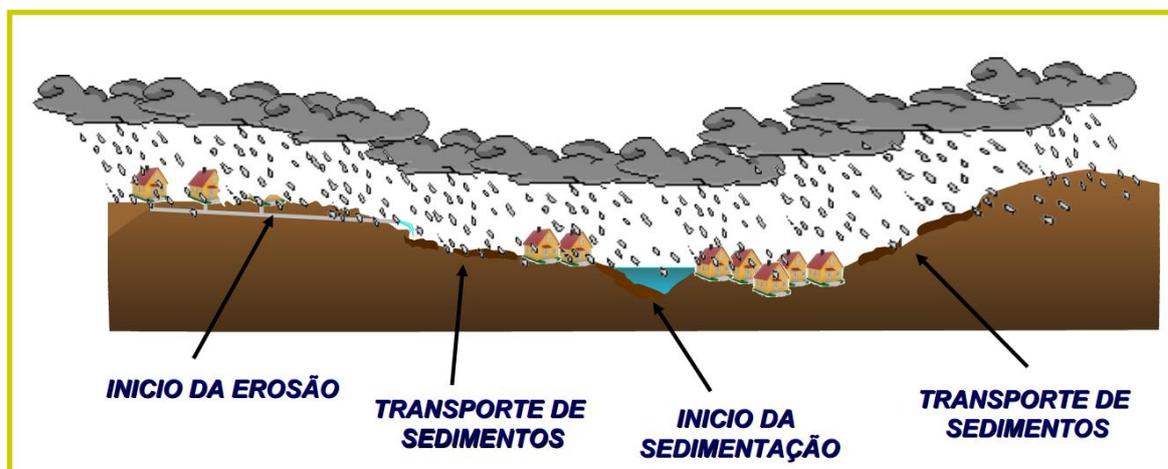


Figura 12. Consequências do uso inadequado do solo. Fonte: III SEMEA, 2010.

## II. Chuva

A frequência das chuvas é um fator muito influente nos processos erosivos, pois se o intervalo de tempo entre elas for pequeno, isso provocará uma saturação no solo e a água não conseguirá se infiltrar, resultando na instalação de enxurrada o que dará origem aos processos erosivos.

## III. Topografia

A influência da topografia nos processos erosivos está ligada ao comprimento e formas das encostas e da declividade do terreno, pois ambos interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial da água.

## IV. Geologia

As características litológicas, baseadas na mineralogia e no tamanho dos grãos, e as estruturas geológicas, que determinam a orientação e os locais mais propícios para o desenvolvimento da erosão, associadas ao intemperismo condicionam a suscetibilidade do material à erosão.

## V. Solos

As propriedades mineralógicas, biológicas e químicas exercem diferentes níveis de influência na infiltração e resistência aos processos erosivos de acordo



## ➤ Tipos de Erosão

De acordo com Salomão & Iwasa (1995 *apud* VIERO 2004), dependendo da forma que se dá o escoamento superficial ao longo da vertente, podem se desenvolver dois tipos de erosão: a chamada laminar ou em lençol se o fluxo é difuso, e a erosão linear se ocorre concentração das linhas de fluxo das águas, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir por aprofundamento para ravinas ou mesmo para voçorocas.

A classificação dos processos erosivos é influenciada pelo tipo de origem (natural ou antrópico), e pelos fatores condicionantes que podem alterar a sua intensidade. Os fatores condicionantes que se destacam são os eólicos e os hídricos. Nos fatores eólicos, as partículas sofrem desgaste e são transportadas através da ação dos ventos, enquanto que nos fatores hídricos, ocorre através da chuva.

A erosão costeira é caracterizada pelo recuo da linha de costa em direção ao continente devido aos processos erosivos, enquanto que a fluvial está associada com a atuação das águas dos rios (em suas calhas e margens) e a pluvial é identificada com a atuação das águas das chuvas.

Para a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão, os processos erosivos que foram identificados estão inseridos na erosão hídrica pluvial.

A erosão hídrica é iniciada com o impacto das gotas de chuva em um solo desprotegido devido à ausência da cobertura vegetal, provocando rupturas e o escoamento superficial (*runoff*), resultando nos processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos. Dependendo da intensidade e concentração do escoamento ao longo da encosta, o processo pode progredir para uma erosão em lençol (através do escoamento laminar) ou linear (sulcos, ravinas e voçorocas) (Figura 14).

A Erosão Laminar é o resultado do escoamento superficial da água, que distribuída de forma divergente pelas vertentes resulta na remoção progressiva do solo nas camadas superficiais.

A Erosão Linear ocorre devido ao fluxo convergente da água ao longo das vertentes em conjunto com a densidade e velocidade do escoamento. Como resultado da erosão linear, podemos observar três tipos de feições erosivas: sulcos,

ravinas e voçorocas.

Os Sulcos são causados pela formação de canais sinuosos ao longo das linhas de fluxo de água ocasionada por chuvas de grande intensidade, em terrenos de elevada declividade, que podem se aprofundar e formar ravinas.

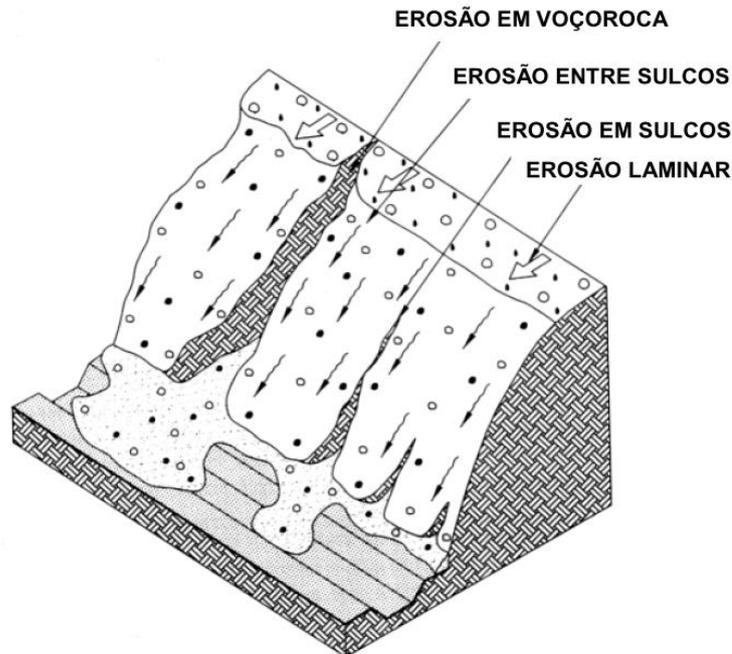


Figura 14. Erosão Hídrica pluvial. Fonte: Llopis Trillo, 1999 (apud BANDEIRA, 2003).

As Ravinas são grandes depressões no solo causadas pelo escoamento superficial da água em solos onde a vegetação é escassa, que ao persistirem no mesmo local, por longos períodos, podem evoluir para voçorocas.

As Voçorocas são canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático, causados pela água da chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não protege mais o solo, que fica cascalhoso e suscetível de carregamento por enxurradas. É um processo erosivo com maior poder destrutivo, correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento, até atingir o lençol freático, com o aparecimento de surgências d'água.

Segundo Magalhães *et. al.*(2001), existem três tipos de voçorocas: ovóides, coalescentes e lineares. As formas ovóides são mais típicas e apresentam a configuração de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior e um canal estreito à jusante. As formas coalescentes são constituídas por mais de um

anfiteatro à montante, sendo resultante de reentrâncias nas paredes laterais, que evoluem de forma independente. As formas lineares apresentam um grande desenvolvimento longitudinal, assemelhando-se a um cânion, mas terminando igualmente por um canal estreito. As voçorocas que não apresentam o estreitamento na parte inferior evoluem por deslizamentos dos taludes das estradas ou solapamentos nas bordas dos cursos d'água. Entre os processos básicos envolvidos na gênese dessas formas citam-se os escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneo. O fenômeno citado caracteriza-se pelo desenvolvimento inicial em grande velocidade e por sua ocorrência em locais de solos e/ou rochas friáveis, ou seja, quebradiças.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### 3.1 Localização e Aspectos Sócioeconômicos do Município de Ipojuca

O Município de Ipojuca está localizado a 50,2 km de Recife, sendo limitado ao norte pelo Município do Cabo de Santo Agostinho, ao Sul pelo Município de Sirinhaém, a leste pelo Oceano Atlântico e a oeste pelo Município de Escada (Figura 15).



Figura 15. Localização do Município de Ipojuca.

Apresenta uma área territorial de 527,3 km<sup>2</sup>, formada pela sede municipal e pelos distritos de nossa Senhora do Ó e Camela, e pelos povoados das praias de Porto de Galinhas, Muro Alto, Cupe, Maracaípe, Serrambí, Toquinho e seus engenhos.

A sede municipal está localizada na latitude 08°24'00" e longitude 35°03'45",

e pode ser acessada pela rodovia federal BR-101, e posteriormente pela PE 0-60. Apresenta uma altitude média de 10m, com o ponto mais elevado de 63m.

Segundo o IBGE, no ano de 2011 o município de Ipojuca apresentava uma população de 82.276 habitantes, com uma densidade demográfica de 156,03 hab/km<sup>2</sup>. É observado um razoável crescimento populacional entre os anos de 1991 à 2010 (Figura 16).

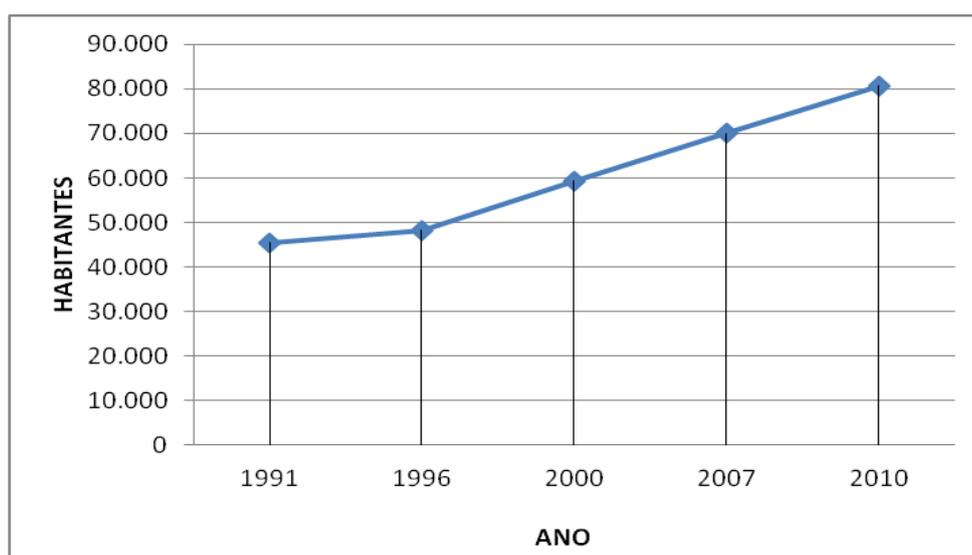


Figura 16. Crescimento anual da população entre os anos de 1996 à 2010. Fonte: IBGE, 2012.

O Município contém ocorrências minerais de pouca expressão, entre eles encontra-se o caulim, as rochas ornamentais, o calcário, a turfa, a ilmenita e os tufos vulcânicos. Por outro lado, a areia é extraída em grande quantidade do leito do rio Ipojuca, sendo sua produção destinada principalmente ao mercado consumidor em Recife. Trata-se de uma areia com granulometria que varia de média a fina, quartzosa, utilizada principalmente para construção civil, com melhor potencial de utilização em argamassas para acabamento. Porém, sua extração está acarretando grandes impactos ambientais, como o solapamento, alargamento e desmatamento das margens e o assoreamento do canal do rio Ipojuca.

### 3.2. Clima

O clima do Município de Ipojuca é do tipo tropical chuvoso, definido pelo verão seco, situado numa região de transição entre os tipos climáticos Ams' e As', da classificação de Köppen (quente e úmido com taxa de precipitação superando a de evaporação).

O período das chuvas situa-se entre os meses de março a agosto (outono-inverno), sendo os meses mais úmidos os que vão de maio a agosto (Figura 17). Dentro deste período a precipitação pluviométrica oscila entre 140 e 270 mm mensais, com média anual variando entre 1.500 e 2.000 mm. A temperatura média anual está em torno de 26°C, com temperaturas mínimas e máximas em torno de 18°C e 32°C respectivamente (Ipojucanos.com, 2009).

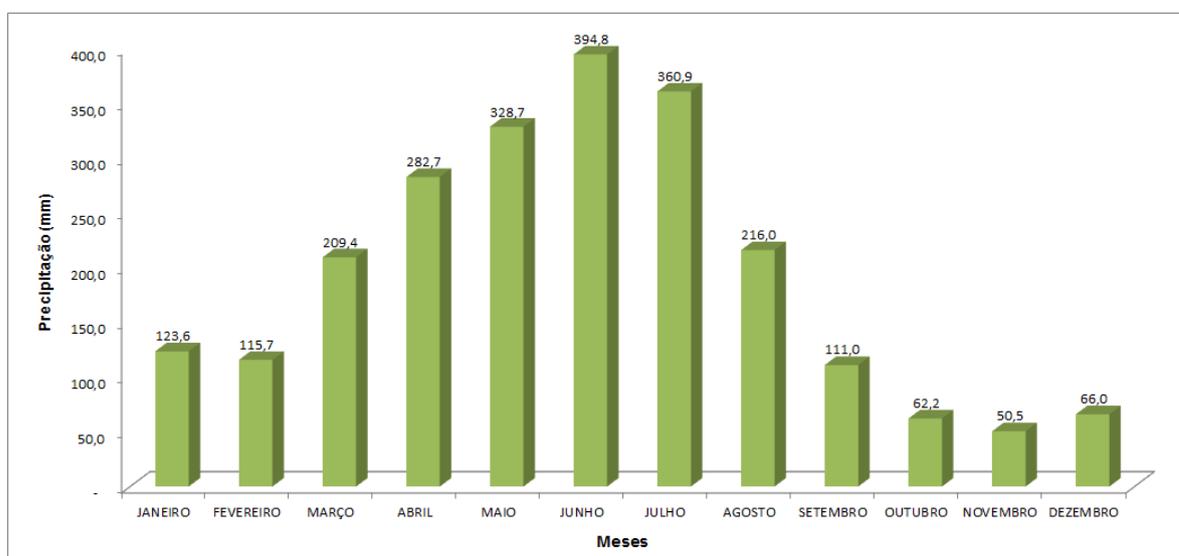


Figura 17. Precipitação média mensal das chuvas entre 1941 a 2013 no município de Ipojuca. Fonte: GEGEP/UFPE, 2014.

### 3.3. Vegetação

A vegetação nativa remanescente é do tipo floresta subperenifólia, com partes de Floresta hipoxerófila. Apresenta como bioma a Mata Atlântica, onde resquícios podem ser encontrados em pequenas áreas do município devido a sua substituição pela cultura da cana-de-açúcar.

### 3.4. Solos

Em geral, no Município de Ipojuca tem-se a ocorrência de solos com baixa a média fertilidade, rasos a moderadamente profundos, com limitação de drenagem e topografia irregular. É comum a existência de solos com elevado teor de argila, e, com limitação em relação à absorção de nutrientes. Em menor escala são inaptos ou apresentam severas limitações para a exploração agrícola. A maior parte do município de Ipojuca tem seu território ocupado por solos distróficos.

De acordo com o mapa pedológico elaborado por Silva *et.al.*(2001), na escala 1:100.000, o solo do município de Ipojuca é composto predominantemente pela classe Podzólicos Amarelos - PA (Argissolos Amarelos), seguido por Latossolos - LA, gerados pela alteração das rochas do embasamento cristalino, os Gleissolos – G, encontrados nos aluviões e a Terra Roxa Estruturada - TR (os Nitossolos), localizados pontualmente na parte norte da região (Figura 18).

Por toda faixa litorânea pode-se encontrar, como resultado da alteração dos sedimentos mais recentes, os Solos de Mangues (SM) e as Areais Quartzozas - AQ (Neossolos Flúvicos), e nas proximidades do Complexo Portuário e Industrial de Suape observa-se os Areais Quartzozas Marinhas – AQM (Neossolos Quartzarênicos) em conjunto com os Podzóis Hidromórficos – PH (Espodossolos).

Em seguida, estão descritas as características dos solos encontrados no município de Ipojuca:

➤ Argissolo (PA)

Solos constituídos por material mineral não hidromórfico, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

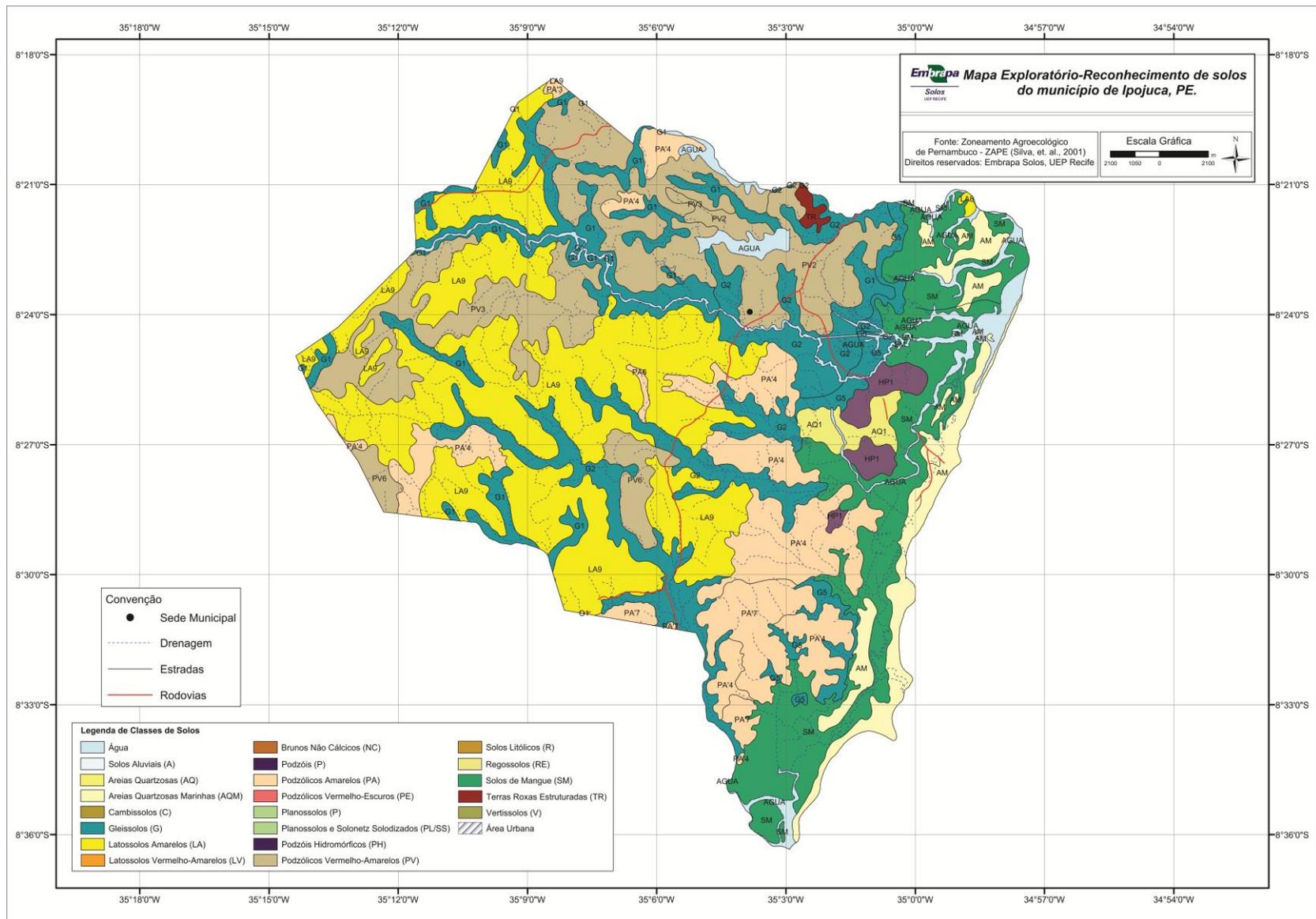


Figura 18. Mapa Pedológico do Município de Ipojuca. Fonte: Silva et al., 2001.

Do ponto de vista geotécnico no município de Ipojuca, são caracterizados como solos residuais espessos, de cor vermelho-amarelo a amarelo, provenientes da alteração de rochas graníticas e sedimentares, com alta plasticidade, muito argilosos, com permeabilidade baixa a muito baixa.

➤ Espodossolo (PH)

Solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E, ou subjacente a horizonte A. São originados a partir dos sedimentos arenosos de origem marinha que formam os cordões litorâneos. Apresentam, usualmente, sequência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes. São solos transportados, de alta permeabilidade, muito suscetíveis a erosão, com granulometria predominantemente arenosa.

➤ Gleissolo Háptico (G)

Solos hidromórficos, constituídos por material mineral pouco evoluídos, que foram originados a partir de sedimentos quaternários; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150cm da superfície do solo ou até um contato lítico. Caso tenha um horizonte plíntico, deve estar a profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

➤ Latossolo (LA e LV)

Esta classe de solo ocorre frequentemente nos tabuleiros costeiros e são formados pela latolização, onde a sílica e bases trocáveis (principalmente  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) são retiradas e ocorre a adição de óxido de ferro e de alumínio, resultando num aspecto maciço poroso. Geralmente profundos estes solos são homogêneos e bem drenados, apresentando acidez e baixa fertilidade, estrutura granular, com baixo teor de silte e materiais facilmente intemperizáveis. Possui baixos teores de  $\text{Fe}^{+3}$  e é tipicamente caolinítico e goethítico. A cor predominantemente amarelada é decorrente da alta concentração do mineral goethita.

Apresenta alta resistência a erosão, boa estabilidade em taludes de corte e boa capacidade de suporte.

➤ Neossolo Flúvicos, Quartzarênicos e Litólicos (AQ, AQM e R)

Podem ser originados de depósitos fluviais recentes ou por cordões arenosos costeiros, em associação com os espodossolos. Apresenta composição arenosa, alta permeabilidade e suscetibilidade a erosão.

Os Litólicos são solos rasos, associados a afloramentos de rocha que são constituídos por material mineral não Hidromórfico, pouco desenvolvido que não apresenta horizonte B diagnóstico.

➤ Nitossolo (TR)

Solos profundos, predominantemente cauliniticos, geralmente bem drenados que são constituídos por um material mineral com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa, não hidromórficos, com estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados e baixa permeabilidade.

➤ Solo de Mangue (SM)

Solos hidromórficos, pouco evoluídos, geralmente profundos com preponderância de características devidas ao material orgânico resultante de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição.

São solos muito compressíveis de baixíssima permeabilidade e muito reativo com estruturas metálicas ou de concreto enterradas.

### **3.5. Hidrografia**

A rede de drenagem é composta por vários rios pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Ipojuca, Massangana e Sirinhaém. Também existem pequenas bacias litorâneas como as do rio Merepe-Maracaípe.

A parte norte do município é drenada pela bacia hidrográfica do rio Ipojuca, sendo cortada na direção oeste-leste. Os principais rios desta bacia hidrográfica são os rios Ipojuca e o Merepe, que deságuam ao sul do Complexo Portuário de Suape.

A Bacia Hidrográfica do Rio Massangana tem como principais afluentes os rios Tabatinga e Tatuoca, que também cortam o município na direção oeste-leste,

porém deságuam ao norte do Complexo Portuário de Suape.

Na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, o seu principal afluente é o rio Sibiró, que corta no sentido norte-sul na parte oeste do município.

Há ainda uma série de canais, naturais ou não, que cortam as áreas planas, muitas vezes inundadas, situadas junto ao litoral do município.

### **3.6. Geomorfologia**

O município de Ipojuca apresenta oito unidades de relevo, sendo classificadas como: Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres, Planícies Flúvio-marinhas, Planícies Costeiras, Domínio de Colinas Amplas e Suaves, Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros baixos, Domínio de Morros e de Serras baixas (AMARAL, 1998).

Na parte central e oeste, as unidades Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros baixos, Domínio de Morros e de Serras baixas representam as alterações sofridas pelas rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. Nestas unidades ocorre o predomínio de fundos de vales em “V”, linhas de cumeadas, cumes de morros, colinas arredondada e encostas convexas, resultando em ravinamentos, deslizamentos e voçorocamentos em alguns locais.

A unidade Domínio de Colinas Amplas e Suaves também pode ser observada nos sedimentos da Bacia do Cabo, onde há o predomínio de fundos de vales em “U”, cumes arredondados e angulares, morros e colinas que antecedem a Chapada da Borborema.

Nas Planícies Costeiras são observados os Terraços Marinheiros Pleistocênicos, sedimentos arenosos remanescentes da penúltima transgressão marinha, são encontrados em uma faixa que acompanha todo o litoral do município. Ambos com a mesma composição litológica são divididos em dois níveis distintos: o Terraço marinho superior, situado de 4 a 8 m de altitude acima do nível do mar, com idade do Pleistoceno e o Terraço marinho inferior, que ocorre com no máximo 6m de altitude e foi formado no Holoceno.

As Planícies Fluviais, depósitos de origem fluvial assentados nas várzeas dos rios durante o período das cheias, estão sujeitas as inundações periódicas dos

rios. São observadas ao longo dos rios Ipojuca, Arimbí, Sibiró e Sirinhaém.

A Planície Flúvio-Marinha, localizada ao longo da costa, composta por sedimentos finos areno-argilosos depositados com alguma interferência marinha, foi formada sob as condições ambientais do Neógeno. São representadas pelas praias, recifes, terraços e planícies, mangues, bancos de areia, planície flúvio-lagunares e os depósitos de assoreamento.

Os Manguezais são áreas baixas, periodicamente inundáveis, situadas principalmente ao longo dos trechos inferiores dos rios, sofrem a influência direta do mar e possuem uma vegetação característica que se assenta em um substrato de sedimentos finos ricos em matéria orgânica.

As Praias Recentes são formadas por sedimentos areno-quartzosos que se distribuem em estreita faixa de norte a sul do município, acompanhando a linha de costa.

### **3.7. Geologia**

O Município de Ipojuca está localizado dentro do Maciço Pernambuco Alagoas (SCHOBENHAUS, 1984) e apresenta componentes litológicos que foram intensamente afetados por eventos tectônicos, com falhamentos e dobramentos de direção predominante para o NE e mergulho para SE. Formando o Embasamento Cristalino da região, essas rochas, de idade proterozóica (entre 2,5 bilhões à 542 milhões de anos), são constituídas por Ortognaisses, Migmatitos, Gnaisses Graníticos milonitizados, Leucogranitos tectonizados. Posteriormente, ainda no Proterozóico, sofreram intrusões graníticas compostas por Biotita Granito pórfiro, Biotita Granito e Quartzito Sienito.

Durante a separação dos continentes Sulamericano e Africano devido a esforços tectônicos, ocorreu a formação do Oceano Atlântico e a geração de meios grabens no litoral da região através de falhamentos com direção NE-SW, onde formou-se a Bacia Cabo, que posteriormente foram recobertos por sedimentos recentes do Neógeno.

A sequência estratigráfica do município utilizada nesta pesquisa foi baseada no trabalho desenvolvido pelo GEGEP/UFPE (2014). Ela pode ser dividida em quatro unidades geológicas, posicionadas da base para o topo: Complexo

Gnáissico-Migmatítico, Rochas Granitóides, Bacia Cabo - Grupo Pernambuco e Coberturas Recentes.

O embasamento cristalino é formado pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico (Px), composto por Ortognaisses de composição predominantemente granodiorítica e Ortognaisses tonalíticos, migmatizados. São rochas de idade proterozóica, localizadas na parte central, oeste e extremo norte do município.

No Neoproterozóico ocorreu a intrusão de granitóides no centro e oeste da região. Esta unidade é formada por vários corpos batolíticos que são constituídos pelos seguintes tipos petrográficos: biotita granitos com variações para quartzomonzonitos e quartzosienitos e, biotita granitos porfiríticos.

No período Cretáceo, houve a formação da Bacia Cabo, que engloba litologias de origem sedimentar e contribuições vulcânicas. É constituída pela Formação Cabo (Kc), Formação Ipojuca (Kiv), Formação Estiva (Ke), Formação Algodoads (Ka) e a Formação Barreiras (Nqb). As Formações Kc, Ke e Nqb são compostas por rochas de origem sedimentar, a Formação Kiv por rochas de origem vulcânica e a Formação Ka, composta por sedimentos de origem sedimentar e vulcânico.

A Formação Cabo é observada numa faixa com direção norte-sul, litologicamente representada por conglomerados polimíticos de matriz arcoseana, arcóseos com níveis conglomeráticos, siltitos e argilitos, capeados por arenitos grossos a conglomeráticos, com estratificação planoparalela e cruzadas acanaladas.

A Formação Ipojuca é formada por rochas vulcânicas, cujos principais tipos petrográficos são: traquitos, riolitos, basaltos, andesitos, ignibritos, granitos sub-vulcânicos e rochas piroclásticas. Esta unidade corta as rochas da Formação Cabo sob a forma de derrames, diques (algumas vezes intemperizados na forma de caulim), chaminés e intrusões. Embora o tipo de vulcanismo mais comum que afetou a região seja fissural (com extravasamento calmo da lava), também pode ser encontrado na área o vulcanismo do tipo explosivo representado pelos tufos e aglomerados vulcânicos. Suas áreas de exposição podem ser observadas entre a planície costeira e o embasamento cristalino.

Sobreposta a Formação Cabo encontra-se uma sequência sedimentar clástico-carbonática denominada Formação Estiva. Esta unidade tem como

principais tipos litológicos os arcósios conglomeráticos ou não, folhelhos de cor cinza ou preta, margas e calcários dolomíticos (ALHEIROS, 1988). Na área do município, esta litologia é observada apenas em um morro isolado na localidade de Cocaia e em terras da fazenda Gameleira na forma de colinas de topo chato coberto por fina camada de solo, onde foram identificados calcários de cor creme, maciços, dolomíticos, pouco fraturados, com intercalações de argila e fósseis de gastrópodes e lamelibrânquios.

A Formação Algodoads é constituída por conglomerados de matriz arcoseana, com seixos de rochas vulcânicas, arenitos conglomeráticos maciços e arcósios de granulação média a grossa e arenito conglomerático esbranquiçado, quartzoso.

A Formação Barreiras (Paleógeno) aflora na região sul do município na forma de sedimentos argilo-arenosos, com granulação variando de fina a média, localmente conglomerática, com níveis argilosos ou ricos em óxidos e hidróxidos (GONÇALVES, 2014).

As Coberturas recentes, formadas durante o período Quaternário (Neógeno), são compostas por sedimentos inconsolidados divididos em Terraços Marinheiros Pleistocênicos (Qtp) e Holocênicos (Qth), Sedimentos Flúvio-Lagunares (Qdfl), Depósitos de Mangues (Qm), Depósitos Aluvionares, (Qal) e Sedimentos de Praia (Qp).

Os Terraços Marinheiros Pleistocênicos e Holocênicos (Qtp e Qth) são formados por sedimentos arenosos, com granulometria variando, principalmente, de fina a média, com selecionamento regular, associadas a restos de conchas calcárias. Geralmente ocupam cotas que variam de 2m a 10m. Os Terraços Pleistocênicos apresentam areias quartzosas com níveis endurecidos por óxido de ferro e uma camada superficial, geralmente, enriquecida com matéria orgânica. Os Terraços Holocênicos apresentam areias mais bem selecionadas, onde predomina a granulometria fina (PFALTZGRAFF, 2003).

Os Sedimentos Flúvio-Lagunares são formados de areias finas, siltes, argilas e sedimentos turfáceos de ambiente flúvio-lagunar, estão localizados por toda a linha de costa, sendo a unidade quaternária de maior extensão nas áreas mais baixas do município, com cotas até 2 metros, sujeitas a inundações e compostas por sedimentos depositados com alguma interferência marinha.

Os Depósitos de Mangues, áreas com maior proximidade do mar, são predominantemente constituídos por argilas orgânicas, siltes, areias finas, carapaças silicosas de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas (CALDASSO, *et al.*, 1981 *apud* CALDAS, 2007). Estão localizados em áreas baixas, periodicamente inundáveis, situadas principalmente nos estuários dos rios Ipojuca e Sirinhaém, trechos inferiores sofrem a influência direta do mar. Eles são recobertos por uma vegetação característica que se assenta em um substrato de sedimentos finos ricos em matéria orgânica.

Os Depósitos Aluvionares estão localizados na parte central do município, ao longo dos rios Ipojuca e Sirinhaém. Sua composição é basicamente arenosa, apresentando intercalações de camadas de silte e argila, podendo atingir até 10 metros de espessura.

Os Sedimentos de praia são depósitos arenosos inconsolidados essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo de todo o litoral (PFALTZGRAFF, 2003). Existem os recifes algálicos, coralígenos e de arenitos, estes últimos retilíneos, que marcam antigas linhas de costa e constituem uma feição marcante nas praias do município de Ipojuca.

---

## MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Introdução

Para a elaboração deste trabalho, primeiro foi realizado o levantamento bibliográfico, onde foram pesquisadas as informações sobre:

- Caracterização e definição do tema suscetibilidade;
- Sensores remotos;
- Ferramentas GIS;
- Aspectos fisiográficos da região:

Posteriormente, através do processamento dos dados coletados foram compilados, atualizados ou elaborados os seguintes mapas temáticos:

- Base Cartográfica Planialtimétrica;
- Geológico;
- Solos;
- Declividade;
- Perfil Vertical e horizontal das encostas;
- Uso e ocupação da terra;
- Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

Todos os mapas temáticos foram convertidos para o formato RASTER, com a extensão .GRID, para que fosse possível seu processamento no *software* ArcGis 10.1. Para todo material digital utilizado nesse trabalho foi adotada a projeção cartográfica UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e o *Datum* SIRGAS 2000 Zona 25S (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

## 4.2 Sensoriamento Remoto

Devido a sua capacidade de gerar modelos digitais precisos de declividade e formas de relevo, as ferramentas do sensoriamento remoto são responsáveis pela realização das correções, realce ou aumento de contraste, classificação e transformação das imagens, por isso estão sendo utilizadas cada vez mais para reduzir significativamente o tempo e os custos de um mapeamento relacionado à suscetibilidade de movimentos de massa e auxiliar a demarcação de áreas de risco.

A relativa facilidade de interpretação visual das feições do terreno e das paisagens regionais mostradas nas imagens de sensoriamento remoto são o maior atrativo para o uso desta ferramenta. Com o advento das imagens de alta resolução em fins da década de 1990, tornou-se possível, por exemplo, localizar os deslizamentos recentes e as cicatrizes de deslizamentos mais antigos em uma determinada área. Satélites, como o *IKONOS* e o *Quickbird*, fornecem imagens do terreno com resolução espacial (o tamanho do menor objeto que pode ser representado em uma imagem), de até 60 centímetros. Antes, somente deslizamentos de grandes dimensões podiam ser vistos nas imagens de satélite (PFALTZGRAFF, 2007).

É importante ressaltar que as fotografias aéreas convencionais ainda continuam sendo utilizadas em várias linhas de pesquisa, entre elas o mapeamento geológico-geotécnico. Entretanto, devido ao fato da alta resolução e qualidade do material fornecido pelas imagens de satélite para o mapeamento de uma região, o método tradicional através das fotografias aéreas, que é mais caro e demorado, vem se tornando uma segunda opção.

Atualmente, com as ferramentas digitais, pode-se adquirir uma série de informações relativamente precisas de uma determinada região, mesmo nas áreas onde os dados são exíguos, como o caso do município de Ipojuca.

## 4.3 Modelo Digital do Terreno (MDT)

Segundo Fernandes, 2005 (*apud* PFALTZGRAFF, 2007), o Modelo Digital de Terreno é “qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço”.

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é a representação espacial do

armazenamento e processamento matemático contínuo de informações obtidas nas curvas de nível e pontos altimétricos, que possam ser utilizadas na confecção e interpretação dos mapas de uma determinada região.

Através do MDT pode-se extrair informações que darão origem a mapas como o hipsométrico, declividade, amplitude de relevo e outros.

Para a confecção do MDT neste trabalho, foram utilizadas as cartas topográficas Escada (SC.25-V-A-II-4-NO), Cabo (SC.25-V-A-II/4-NE / MI-1371/4-NE), Santo Agostinho (SC.25-V-A-III-3-NO), Pedra Selada (SC.25-V-A-II-4-SO), Ipojuca (SC.25-V-A-II-4-SE), Ponta da Gamboa (SC.25-V-A-III-3-SO), Camela (SC.25-V-A-V-2-NO) e Sirinhaém (SC.25-V-A-V-2-NE / SC.25-V-A-VI-1-NO), todas de autoria da SUDENE (1972), na escala 1:25.000, inicialmente digitalizadas e posteriormente vetorizadas, adotando-se o espaçamento original de 10 metros na equidistância das curvas de nível e, inserido o atributo elevação. Todo o material está projetado no Sistema de Coordenadas UTM / *South America* / SIRGAS 2000 Zona 25S.

#### **4. 4 Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

O objetivo do Sistema de Informações Geográficas – SIG é armazenar, processar e recuperar informações que possam ser localizadas na superfície terrestre através de suas coordenadas geográficas. Pode ser utilizado em todas as linhas de pesquisa, utilizando além dos conhecimentos da informática, os conceitos cartográficos, geográficos, topográficos e geodésicos, onde suas informações podem ser apresentadas em meio digital ou analógico.

Através dessas ferramentas, é possível gerar vários mapas temáticos, que inseridos no ambiente SIG, podem ser sobrepostos e realizar a superposição (ou cruzamento) e reclassificação de suas informações, até a obtenção de um modelo adequado e preciso, possibilitando a sua atualização quando houver novas informações disponíveis.

O SIG utiliza dois tipos de abordagem para resolução dos problemas propostos. O primeiro é aquele baseado na avaliação dos dados coletados (*data driven*) e o segundo, conhecido como *knowledge driven*, se baseia no conhecimento dos processos e seus condicionantes, sendo conduzido para o cruzamento entre os dados existentes, permitindo que cada variável envolvida no processo seja

ponderada de forma a refletir a sua importância dentro do caso em estudo (CARVALHO & RIEDEL, 2005).

#### 4.4.1 Base Cartográfica Planialtimétrica

A Base Cartográfica elaborada pelo GEGEP/UFPE (2014) foi gerada a partir das cartas topográficas da SUDENE (1972), fornecidas em meio analógico pela CONDEPE/FIDEM, e que posteriormente foram vetorizadas e armazenadas em meio digital com o padrão da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), seguindo as especificações técnicas ET-ADGV (Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais). Para a verificação do seu georreferenciamento, etapas de campo foram realizadas com o intuito de coletar pontos de controle e desta forma padronizar o material para o sistema geodésico SIRGAS 2000. Todo este processo foi efetivado utilizando o *software* ArcGis 10.1 (Figura 19).

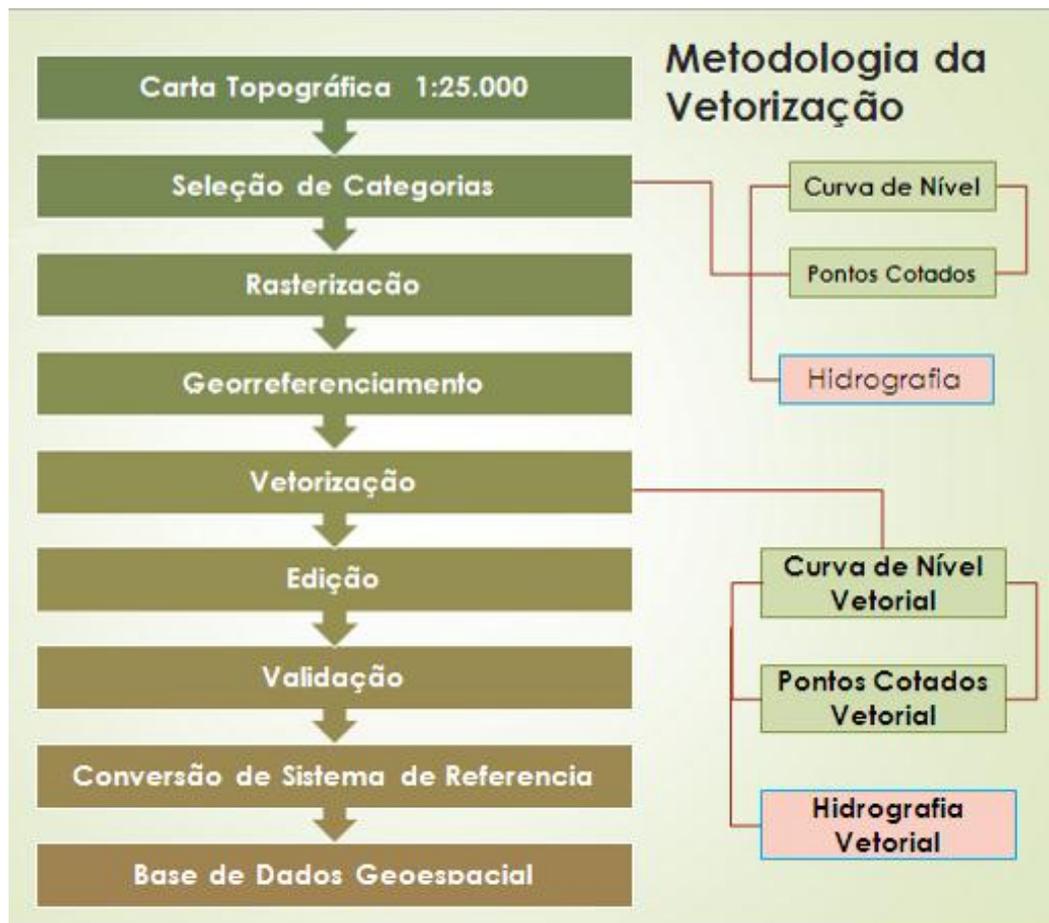


Figura 19. Etapas realizadas durante a geração da Base Cartográfica (GEGEP/UFPE, 2014).

#### 4.4.2. Mapa de Cicatrizes dos Movimentos de Massa e Erosão

O inventário de cicatrizes foi confeccionado com a interpretação das imagens *WordView*, *Quickbird* e do *Google Earth* entre 2010 à maio de 2014, através do levantamento e vetorização dos deslizamentos e erosões através do *software* ArcGis 10.1.

#### 4.4.3. Mapa Geológico

O mapa geológico utilizado foi elaborado pelo GEGEP/UFPE (2014). Posteriormente foi realizada a adição de informações obtidas através dos pontos de controle de campo da CPRM.

#### 4.4.4 Perfis vertical e horizontal das encostas

A morfologia do terreno pode ser observada e representada através da combinação entre as curvaturas verticais (côncava, retilínea e convexa) e horizontais (convergente, planar e divergente) da área, onde o resultado pode influenciar nos processos gravitacionais, na migração e acúmulo hídrico através da superfície e subsuperfície da vertente. O seu estudo é de grande importância para o mapeamento de regiões de alagamento ou deslizamento.

Segundo Ruhe (1975 *apud* ROMÃO & SOUZA, 2004), uma vertente pode ser descrita por três componentes geométricos, o gradiente, que se define como sua inclinação em relação ao plano horizontal, medida de forma perpendicular à curva de nível; o comprimento, medido ao longo da direção do gradiente; e a largura, a qual é medida de forma perpendicular ao comprimento, paralelo às curvas de nível. A vertente pode ser retilínea ou curva ao longo do comprimento e/ou largura. A sua forma lateral é expressa pela forma de seu contorno e pelas relações do seu comprimento com a sua largura.

O perfil horizontal e vertical das encostas foi confeccionado a partir das curvas de nível extraídas do MDT gerado pelo GEGEP/UFPE (2014), utilizando a extensão *3D Analyst Tools/Raster Surface / Curvature* do *software* ArcGis 10.1.

#### 4.4.5 Mapa de Solos

O mapa de solos gerado no GEGERP/UFPE (2014) foi confeccionado a partir do recorte do mapa de unidades de mapeamento de solos contido no ZAPE (SILVA, *et. al.*, 2001) utilizando o *software* ArcGis 10.1. Vale salientar que o mapa elaborado contém unidades de mapeamento, que apresentam associações de mais uma classe de solo (Tabela 06).

**Tabela 06. Solos componentes das Unidades de Mapeamento dos Solos. Fonte: Silva, et. al. 2001.**

<b>UNIDADES DE MAPEAMENTO</b>	<b>SOLOS COMPONENTES</b>
AM	Areias quartzosas marinhas (70%) + Espodossolo (30%)
AQ1	Areias Quartzosas
G1	Gleissolo (25%) + Cambissolo (25%) + Solos Aluviais (25%) + Argissolos Amarelos e Acinzentados (25%)
G2	Gleissolo (40%) + Cambissolo (30%) + Solos Aluviais (30%)
G5	Gleissolo (50%) + Espodossolo (50%)
Hp1	Espodossolo
LA8	Latossolo Amarelo (65%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (35%)
LA9	Latossolo Amarelo (40%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (40%) + Gleissolo e Cambissolo (20%)
PA3	Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (40%) + Latossolo Amarelo (25%) + Argissolo Acinzentado (20%) + Afloramentos rochosos (15%)
PA4	Argissolo Amarelo e Vermelho Amarelo (60%) + Argissolo Vermelho-Amarelo (40%)
PA6	Argissolo Amarelo (40%) + Argissolo Acinzentado (30%) + Gleissolo (30%)
PA7	Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (35%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (25%) + Latossolo Amarelo (25%) + Gleissolo e Cambissolo (15%)
PV2	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Argissolo Vermelho-Amarelo (30%) + Cambissolo (20%)
PV3	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Cambissolo (25%) + Solo Litólicos (25%)
PV6	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Argissolo Amarelo (30%) + Argissolo Vermelho-Escuro (20%)
SM	Solos de Mangue
TR	Nitossolo

#### 4.4.6 Mapa de Uso e ocupação da terra.

O estudo do uso e ocupação é um fator muito importante para ser levado em consideração durante o estudo geotécnico de uma área. A ocupação urbana inadequada e a exploração indevida de uma região pode ocasionar sérios danos socioeconômicos ou até mesmo a perda de vidas.

Para a produção do mapa de uso e ocupação da terra do município de Ipojuca foram realizadas a interpretação e vetorização das imagens *WorldView* e *QuickBird*, que foram transportadas para o *software* ArcGis 10.1, em conjunto com a aplicação da classificação das unidades, elaborada a partir do manual técnico de uso da Terra do IBGE (2013). Posteriormente, a realização do campo permitiu uma melhor averiguação e definição entre os limites das classes encontradas.

#### 4.4.7 Mapa da Declividade

Para a elaboração do Mapa de Declividade foi utilizado o MDT gerado no GEGEP/UFPE (2014). A sua confecção foi realizada através da extensão *Slope* do *software* ArcGis 10.1. Esta ferramenta permite selecionar os intervalos de declividade (%) ou a inclinação da encosta (°) a serem processados. Os intervalos adotados para atender a confecção do mapa de declividade do município de Ipojuca foram divididos em: 0-7°, 7°-11°, 11°-17°, 17°-27°, 27°-45°, > 45°.

#### 4.4.8 Determinação do GRAU de Suscetibilidade

Para os mapas de geologia, pedologia e uso do solo, que estavam no formato vetorial (*shapefile*), houve a necessidade de transformá-los para .GRID e depois reclassificá-los com a ferramenta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify* no ArcGis 10.1, atribuindo aos intervalos de classificação os valores de 1, 2 ou 3 (Tabela 07). Entretanto, os mapas de declividade e curvatura das encostas foram gerados inicialmente no formato .GRID, e posteriormente foi realizada a reclassificação das classes. Esta reamostragem foi realizada seguindo o mesmo critério dos mapas citados acima.

**Tabela 07. Correlação entre a suscetibilidade e os graus adotados.**

Suscetibilidade	GRAU
Alta	3
Média	2
Baixa	1

No mapa de curvatura, com o cruzamento dos perfis vertical e horizontal, foi observado que as vertentes Côncava/Convergente, Retilínea/Convergente e Côncava/Planar apresentaram uma suscetibilidade de grau 3, as vertentes do tipo Convexa/Convergente, Côncava/Divergente e Convexa/Divergente foram identificadas como grau 2, e as do tipo Convexa/Planar, Retilínea/Planar e Retilínea/Divergente foram classificadas como grau 1 (Tabela 08).

**Tabela 08. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as vertentes (GEGEP/UFPE, 2014).**

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

\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

Para realizar a classificação do mapa de solos, primeiro foi obtida a classificação de cada solo encontrado (Tabela 09). Em seguida, houve a ponderação de acordo com a porcentagem dos mesmos para as unidades de mapeamento elaboradas por Silva *et al* (2001), o que permitiu a obtenção dos valores dos pesos necessários para a álgebra dos mapas. Entretanto, as unidades G5, PA3, PV2 e PV3 apresentaram um resultado com valores decimais, o que impossibilita a confecção do raster por condicionamento do próprio *software*. Desta

forma, houve a necessidade de substituir tais valores por valores inteiros, neste caso por medida de segurança, foram utilizados os valores acima dos decimais encontrados, sem, no entanto, alterar os resultados.

Desta forma, as unidades TR, G1, G2, PA3, PA4, PA6, PA7, PV2, PV3, PV6 e SM, foram classificadas como Grau 3, LA8, LA9 e G5 foram identificadas como grau 2, e as unidades AQ1, Hp1 e AM foram classificadas como grau 1 (Tabela 10).

**Tabela 09. Classificação do GRAU de suscetibilidade para cada tipo de solo encontrado nas unidades de mapeamento dos solos (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>Classificação Atual (EMBRAPA, 2013)</b>	<b>Classificação Antiga (Antes de 1999)</b>	<b>GRAU de Suscetibilidade</b>	<b>Características Gerais</b>
ESPODOSSOLO HUMILÚVICO	PODZOL HIDROMÓRFICO	1	Solos arenosos que acumulam matéria orgânica em subsuperfície e com permeabilidade muito alta, estão localizados na baixada litorânea (ambiente de restinga) do município.
ESPODOSSOLO FERRI-HUMILÚVICO			
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	AREIA QUARTZOSA		Solos arenosos com permeabilidade muito alta que estão localizados na baixada litorânea (ambiente de restinga) do município.
ARGISSOLO AMARELO	PODZÓLICO AMARELO	2	Solos com gradiente textural (concentração de argila nos horizontes subsuperficiais) tornando-os relativamente pouco suscetíveis aos processos erosivos nos períodos chuvosos.
ARGISSOLO VERMELHO	PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO		
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO		
ARGISSOLO ACIDENTADO	PODZÓLICO ACIDENTADO		
LATOSSOLO	LATOSSOLO AMARELO		Solos estáveis e uniformes no conjunto de suas propriedades, e com boa permeabilidade tornando-os com baixa suscetibilidade aos processos erosivos.
NEOSSOLO FLÚVICO	SOLOS ALUVIAIS		Solos formados por estratos com granulometria diversificadas, variando de acordo com o ambiente e regime hídrico regional, apresentando em menor proporção argila com atividade alta.
CAMBISSOLO FLÚVICO	CAMBISSOLO com substrato de sedimentos fluviais		Solos formados por estratos pouco evidentes e homogeneizados por processos pedogenéticos, variando de acordo com o ambiente e regime hídrico regional, apresentando em menor proporção argila com atividade alta.
GLEISSOLO HÁPLICO	GLEISSOLO		Solos hidromórficos com granulometria diversificada e sujeitos aos alagamentos periódicos ou mesmo permanentes, e também contem teores variados de argila com atividade alta.
SOLOS DE MANGUE	SOLOS DE MANGUE		No ambiente de mangue destacam-se solos das classes dos GLEISSOLOS e ORGANOSSOLOS, e ainda tipos de terreno constituídos por sedimentos inconsolidados que não constituem solos.

**\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.**

**Tabela 09. Classificação do GRAU de suscetibilidade para cada tipo de solo encontrado nas unidades de mapeamento dos solos (GEGEP/UFPE, 2014). (Cont.)**

<b>Classificação Atual (EMBRAPA, 2013)</b>	<b>Classificação Antiga (Antes de 1999)</b>	<b>GRAU de Suscetibilidade*</b>	<b>Características Gerais</b>
NITOSSOLO	TERRA ROXA ESTRUTURADA	<b>3</b>	Solo com agregação predominantemente forte o que permite ao mesmo se desmoronar facilmente nas encostas.
NEOSSOLO LITÓLICO	SOLO LITÓLICO		Solo raso (menos de 50 cm de profundidade) que facilmente fica saturado com água favorecendo uma erosão intensa nas encostas.
CAMBISSOLO HÁPLICO	CAMBISSOLO Tb e Ta raso e pouco profundo com substrato de gnaisses e granitos		Solos pouco desenvolvidos com presença de argila de atividade alta e pequena profundidade.
AFLORAMENTOS ROCHOSOS	AFLORAMENTOS ROCHOSOS		Tipos de terreno que durante as chuvas permitem um escoamento superficial que afetam as áreas circunvizinhas contribuindo com a erosão das mesmas.
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alíticos	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Ta Álico.		Solos com teor substancial de argila com atividade alta limitando sua drenagem natural e por isso tornando-o suscetível aos processos erosivos durante as chuvas.
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico			

**\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.**

Baseado na classificação das unidades geológicas, as formações Cabo e Algodois foram classificadas com o grau 3. Entretanto, a Formação Cabo apresenta uma suscetibilidade superior com relação a Algodois. A Formação Barreiras e a Suíte Magmática Ipojuca foram classificadas com o grau 2. Os sedimentos da formação Estiva, os Depósitos Aluviais, os Sedimentos Flúvio-Lacustres, Sedimentos Silticos Argilosos de Mangue e de Praia, os Terraços Marinheiros Holocênicos e Pleistocênicos, e o Embasamento Cristalino, composto pelo Biotita-granito porfirítico, Biotita-granito, Quartzo Sienito e o Complexo-migmatítico, todos foram classificados com o grau 1 (Tabela 11).

**Tabela 10. Classificação das Unidades de Mapeamento (GEGEP/UFPE, 2014).**

UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS		GRAU de Suscetibilidade*
AM	AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS (1) + ESPODOSSOLO (1)	1
AQ1	AREAIS QUARTZOSAS (1)	1
G1	GLEISSOLO (2) + CAMBISSOLO (2) + SOLOS ALUVIAIS (2) + ARGISSOLOS AMARELOS E ACIZENTADOS (2)	2
G2	GLEISSOLO (2) + CAMBISSOLO (2) + SOLOS ALUVIAIS (2)	2
G5	GLEISSOLO (2) + ESPODOSSOLO (1)	1,5 (2)
Hp1	ESPODOSSOLO (1)	1
LA8	LATOSSOLO AMARELO (2) + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO (2)	2
LA9	LATOSSOLO AMARELO (2) + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO (2) + GLEISSOLO e CAMBISSOLO (2)	2
PA3	ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO (2) + LATOSSOLO AMARELO (2) + ARGISSOLO ACIZENTADO (2) + AFLORAMENTO DE ROCHA (3)	2,15 (2)
PA4	ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO AMARELO (2) + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO (2)	2
PA6	ARGISSOLO AMARELO (2) + ARGISSOLO ACIZENTADO (2) + GLEISSOLO (2)	2
PA7	ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO (2) + LATOSSOLO AMARELO (2) + GLEISSOLO e CAMBISSOLO (2)	2
PV2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (2) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO HÁPLICO (3) + CAMBISSOLO (3)	2,5 (3)
PV3	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (2) + CAMBISSOLO HÁPLICO (3) + SOLOS LITÓLICOS (3)	2,5 (3)
PV6	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (2) + ARGISSOLO AMARELO (2) + ARGISSOLO VERMELHO ESCURO (2)	2
SM	SOLOS DE MANGUE (2)	2
TR	NITOSSOLO (3)	3

\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

Tabela 11. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as unidades litológicas. Fonte: GEGEP/UFPE, 2014.

Unidade Geológica		GRAU de Suscetibilidade*
<b>BACIA DO CABO</b>		
<b>Kc</b>	Formação Cabo – Conglomerado (seixos e blocos do embasamento)	<b>3</b>
<b>Ka</b>	Formação Algodoads – Conglomerado (seixos vulcânicos)	<b>3</b>
<b>Nqb</b>	Formação Barreiras	<b>2</b>
<b>Kirl</b>	Suite Magmática Ipojuca – Riolito	<b>2</b>
<b>Kitq</b>	Suite Magmática Ipojuca - Traquito	<b>2</b>
<b>Kiig</b>	Suite Magmática Ipojuca – Ignibrito	<b>2</b>
<b>Kibs</b>	Suite Magmática Ipojuca – Basalto	<b>2</b>
<b>Ke</b>	Formação Estiva – Calcário	<b>1</b>
<b>Qal</b>	Depósitos Aluviais	<b>1</b>
<b>Qdf1</b>	Sedimentos flúvio-lacustres	<b>1</b>
<b>Qm</b>	Sedimentos siltico argilosos de mangue	<b>1</b>
<b>Qp</b>	Sedimentos de praia	<b>1</b>
<b>Qth</b>	Terraços Marinheiros holocênicos	<b>1</b>
<b>Qtp</b>	Terraços Marinheiros pleistocênicos	<b>1</b>
<b>EMBASAMENTO CRISTALINO</b>		
<b>Ny2</b>	Biotita-granito porfírico	<b>1</b>
<b>Ny3</b>	Biotita-granito	<b>1</b>
<b>Ny5</b>	Quartzo Sienito	<b>1</b>
<b>Px</b>	Complexo Gnáissico-migmatítico	<b>1</b>

\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

No mapa de Uso e Ocupação da Terra, as áreas de florestas, terras úmidas, praias, culturas permanentes e corpos de água foram classificadas com o grau 1, as áreas industriais, os centros urbanos e habitações unifamiliares, cultura temporária (cana-de-açúcar) e mineração com o grau 2, os aglomerados subnormais e o solo exposto para construção ou por erosão, com o grau 3 (Tabela 12 e 13).

**Tabela 12. Classificação do GRAU de suscetibilidade para as classes do uso da terra (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>CLASSES</b>		<b>GRAU de Suscetibilidade</b>
Áreas Industriais, comerciais ou transporte	Estabelecimento de Ensino	<b>2</b>
	Complexo Industrial	<b>2</b>
	Usina de cana de açúcar	<b>2</b>
Áreas Urbanizadas	Centros Urbanos	<b>2</b>
	Habitações Unifamiliares	<b>2</b>
	Aglomerados Subnormais	<b>3</b>
Corpos de Água		<b>1</b>
Culturas Permanentes	Coqueiral	<b>1</b>
	Cultivos Diversificados	<b>1</b>
Cultura Temporária (Cana de Açúcar)		<b>2</b>
Espaços Abertos	Solo exposto para construção	<b>3</b>
	Solo exposto por erosão	<b>3</b>
	Praia	<b>1</b>
Florestas	Mata	<b>1</b>
	Mata ciliar	<b>1</b>
	Restinga	<b>1</b>
	Vegetação arbustiva	<b>1</b>
Mineração (Extração a céu aberto)		<b>2</b>
Terras Úmidas	Áreas alagadas	<b>1</b>
	Mangue	<b>1</b>

**\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.**

**Tabela 13. Características dos graus de suscetibilidade do uso e ocupação da terra (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>CLASSES</b>	<b>GRAU de Suscetibilidade*</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Terras Úmidas (áreas alagadas e mangue), Florestas (mata, mata ciliar, restinga, vegetação arbustiva), Espaços Abertos (Praia), Culturas Permanentes (coqueiral e cultivos diversificados), Corpos de Água.	<b>1</b>	Áreas planas protegidas pela vegetação arbórea.
Mineração (extração a céu aberto), Cultura Temporária (cana de açúcar), Áreas Urbanizadas (Habitações Unifamiliares e Centros Urbanos), Áreas Industriais (estabelecimentos de ensino, complexo industrial, usina de cana de açúcar).	<b>2</b>	Áreas planas ou suaves onduladas que através do uso deixam o solo exposto. Centros urbanos organizados, porém a utilização inadequada pode provocar a desestabilização do solo.
Espaços Abertos (Solo exposto por erosão e Solo exposto para construção), Áreas urbanizadas (Aglomerados Subnormais).	<b>3</b>	Locais onde o solo encontra-se desprotegido dos impactos hídricos (gotas de chuva, escoamento superficial, infiltração), Áreas urbanas mal planejadas, resultando na desestabilização do ambiente.

\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

Para o mapa de Declividade, os intervalos de 0-7° e 7°-11° foram classificados com o grau 1, os intervalos de 11°-17° e 17°-27° como grau 2, e os intervalos de 27°-45° e > 45° como grau 3 (Tabela 14).

**Tabela 14. Classificação do GRAU de suscetibilidade para os intervalos de declividade (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>Intervalo de Declividade (°)</b>	<b>Feições Morfológicas</b>	<b>GRAU de Suscetibilidade</b>
> 45°	Relevo forte ondulado onde pode ocorrer instabilização do material devido à saturação hídrica e inclinação da vertente.	<b>3</b>
27°-45°		
17°-27°	Relevo ondulado. Índice moderado de deslizamentos.	<b>2</b>
11°-17°		
7°-11°	Relevo plano a suave ondulado. Baixo índice de deslizamento.	<b>1</b>
0-7°		

\*Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão.

#### 4.4.9 Análise Hierárquica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*)

Para realizar a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca, foi adotada a metodologia da Análise Hierárquica, conhecida como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), criada por Saaty inicialmente em 1977.

Esta metodologia consiste na elaboração de uma matriz quadrada (Tabela 15) onde os critérios ( $C_n$ ), neste caso os mapas temáticos, são comparados com eles mesmos. Esta ponderação leva em conta a intensidade de importância de um critério em relação ao outro. Para isto, utiliza-se a escala recomendada por Saaty (2008), que varia de 1 (menos importância) até 9 (importância absoluta), observada na Tabela 16.

**Tabela 15. Matriz quadrada de correlação pareada. Fonte: Adaptado de (Saaty, 2008).**

<b>Crítérios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{51}=1/C_{15}$
<b>C<sub>2</sub></b>	$C_{12}$	1	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{52}=1/C_{25}$
<b>C<sub>3</sub></b>	$C_{13}$	$C_{23}$	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{53}=1/C_{35}$
<b>C<sub>4</sub></b>	$C_{14}$	$C_{24}$	$C_{34}$	1	$C_{54}=1/C_{45}$
<b>C<sub>5</sub></b>	$C_{15}$	$C_{25}$	$C_{35}$	$C_{45}$	1

Tabela 16. Escala dos níveis de intensidade de importância. Fonte: Adaptado de (Saaty, 2008).

Intensidade de Importância de cada característica	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Duas características contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma característica em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	Uma característica é fortemente favorecida; o seu grau de importância é demonstrado na prática.
7	Importância muito grande ou demonstrada	A evidência favorece uma característica em relação a outra com elevado grau de certeza.
9	Importância Absoluta	
2, 4, 6, 8	Valores associados a julgamentos intermediários	Quando se deseja maior compromisso.

Em seguida, foi elaborada a matriz de normalização, onde o valor de importância determinado para cada par é dividido pelo somatório dos valores de cada coluna. Logo, para a aquisição do valor do peso ( $w_i$ ) de cada critério, foi realizada a divisão do somatório de cada linha ( $\Sigma L$ ) pelo número de critérios analisados na matriz, neste caso foram cinco: geologia, pedologia, declividade, uso e curvatura (Tabela 17).

Tabela 17. Matriz de normalização dos critérios analisados. Fonte: Adaptado de (Saaty, 2008).

Critérios	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$W_i$
$C_1$	$1/\Sigma C_1$	$C_{21}/\Sigma C_2$	$C_{31}/\Sigma C_3$	$C_{41}/\Sigma C_4$	$C_{51}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_1/5$
$C_2$	$C_{12}/\Sigma C_1$	$1/\Sigma C_2$	$C_{32}/\Sigma C_3$	$C_{42}/\Sigma C_4$	$C_{52}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_2/5$
$C_3$	$C_{13}/\Sigma C_1$	$C_{23}/\Sigma C_2$	$1/\Sigma C_3$	$C_{43}/\Sigma C_4$	$C_{53}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_3/5$
$C_4$	$C_{14}/\Sigma C_1$	$C_{24}/\Sigma C_2$	$C_{34}/\Sigma C_3$	$1/\Sigma C_4$	$C_{54}/\Sigma C_5$	$\Sigma L_4/5$
$C_5$	$C_{15}/\Sigma C_1$	$C_{25}/\Sigma C_2$	$C_{35}/\Sigma C_3$	$C_{45}/\Sigma C_4$	$1/\Sigma C_5$	$\Sigma L_5/5$

Para avaliar a consistência do resultado obtido é necessário encontrar a razão de consistência (RC) através da seguinte equação:

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

O Índice de consistência é encontrado através da fórmula:

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

sendo:

**n** = número de ordem da matriz

**$\lambda_{max}$**  = autovetor

**Wi** = pesos calculados

**Aw** = Produto entre Wi com a matriz de correlação pareada

O Índice Randômico é um valor encontrado em laboratório e pode ser adquirido na Tabela 18.

Tabela 18. Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada. Fonte: Adaptado de Saaty, 2008.

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

Para que as matrizes sejam consideradas aceitáveis, a razão de consistência (RC= IC/RI) deve ser menor que 0,10, ou seja, quando os valores encontrados são inferiores a 0,10 pode-se considerar que os resultados obtidos estão adequados para a realização da superposição dos mapas, caso contrário, os valores superiores a 0,10 sugerem a revisão dos julgamentos paritários.

Para o município de Ipojuca, houve a necessidade da elaboração de duas matrizes de correlação, pois o mesmo apresenta comportamento geológico, pedológico, de curvatura e de declividade distintos entre a Bacia do Cabo e o Embasamento Cristalino.

Em seguida, com a geração do raster de cada tema e com um grau de consistência da matriz satisfatório, foi realizada a sobreposição dos mapas temáticos através da ferramenta *Raster Calculator* no software ArcGis 10.1, aplicando os

valores dos pesos obtidos ( $w_i$ ), e desta forma pode-se realizar a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do município de Ipojuca (Figura 20).

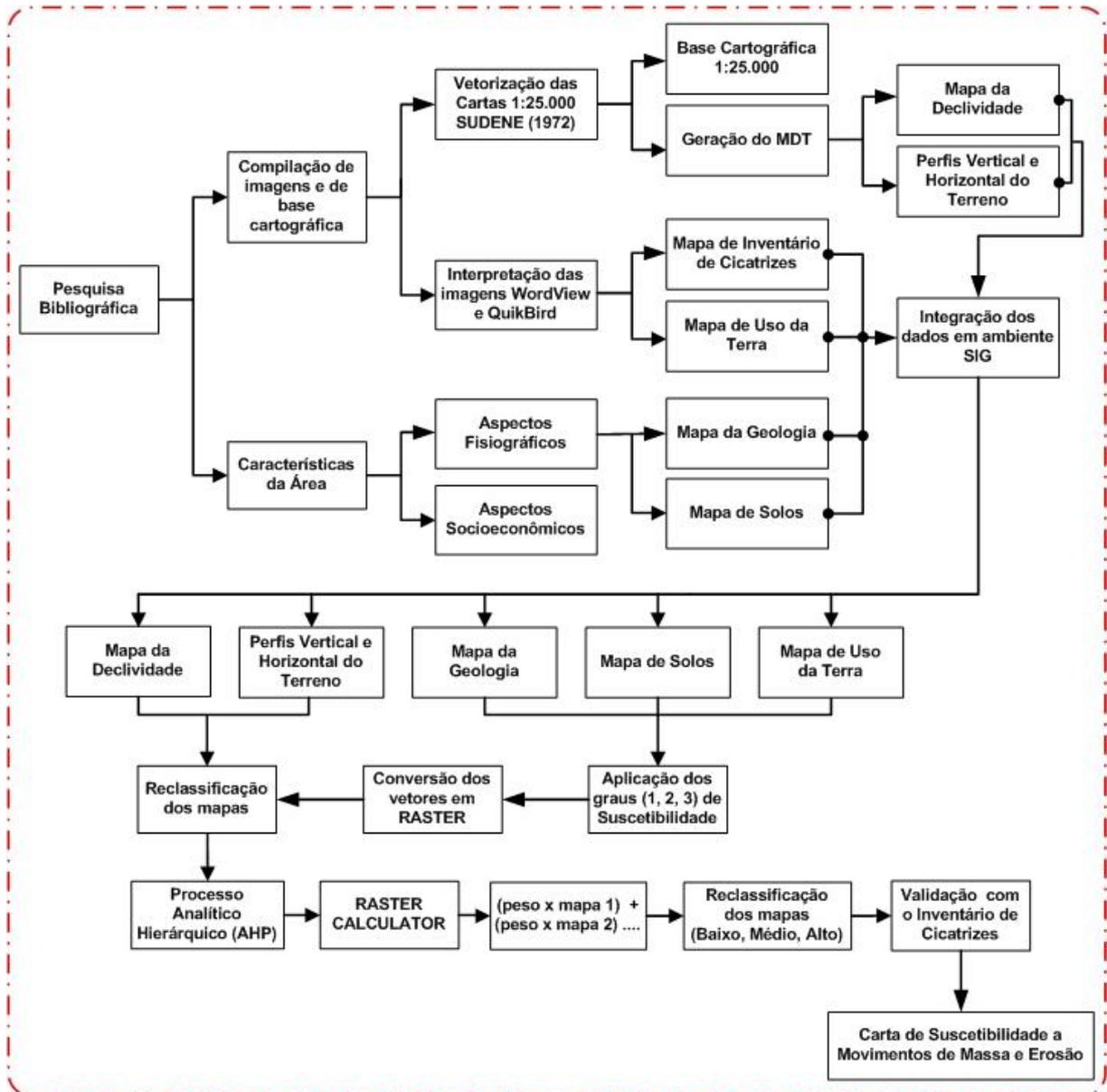


Figura 20. Metodologia aplicada na confecção da Carta de Suscetibilidade pelo GEGEP/UFPE (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Mapa de Cicatrizes dos Movimentos de Massa e Erosão

O mapa de cicatrizes foi elaborado através da interpretação e vetorização das imagens *WordView*, *Quickbird* e do *Google Earth* entre o ano 2010 à maio de 2014 e, em seguida os resultados foram checados em campo. No município de Ipojuca, foram observadas 695 cicatrizes, entre as quais uma grande parte está representada por 579 (83,31%) ravinamentos, seguido por 103 (14,82%) deslizamentos e 13 (1,87%) voçorocamentos (Tabela 19).

Estas feições estão distribuídas ao longo da parte central e oeste do município, estando o maior agrupamento dos ravinamentos na região central (Figuras 21 a 25).

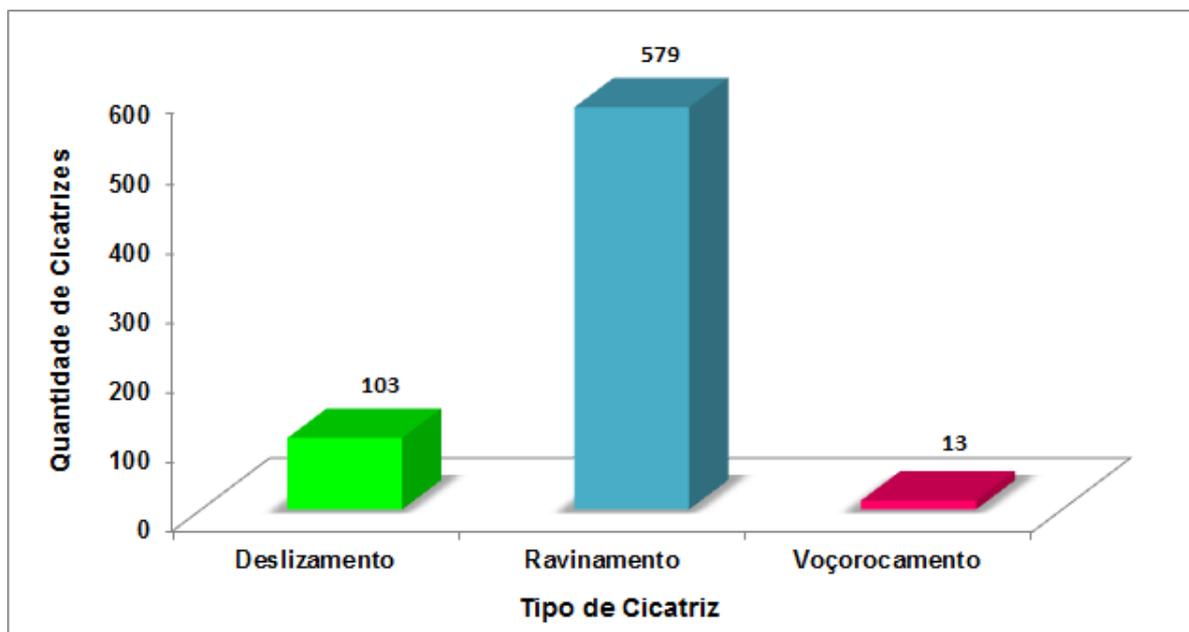


Figura 21. Correlação quantidade x tipo de cicatriz no município de Ipojuca (GEGEP/UFPE, 2014).

Tabela 19. Frequência das cicatrizes no município de Ipojuca (GEGEP/UFPE, 2014).

Tipo das Cicatrizes	Quantidade	% frequência
Deslizamento	103	14,82
Ravinamento	579	83,31
Voçorocamento	13	1,87

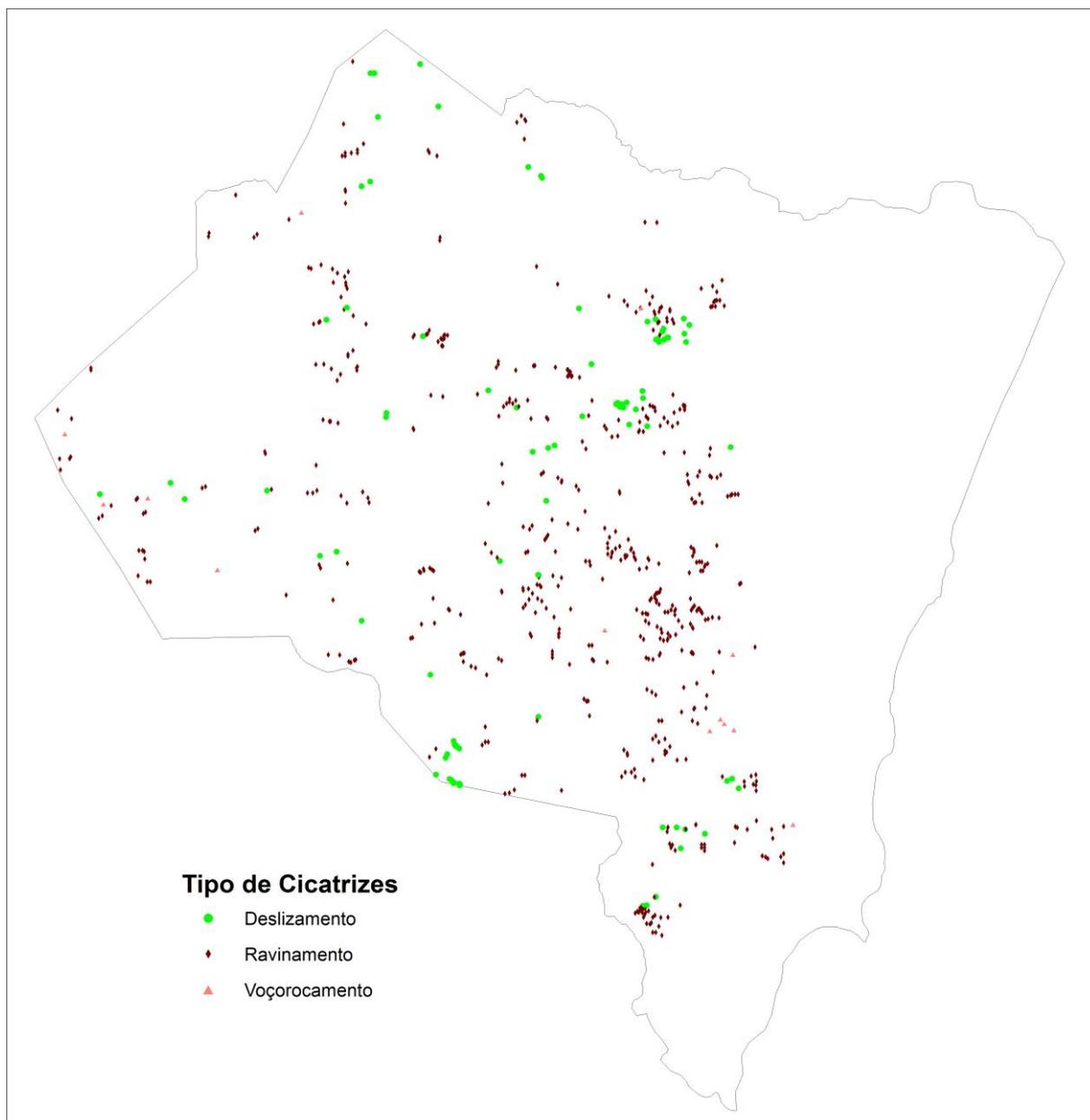
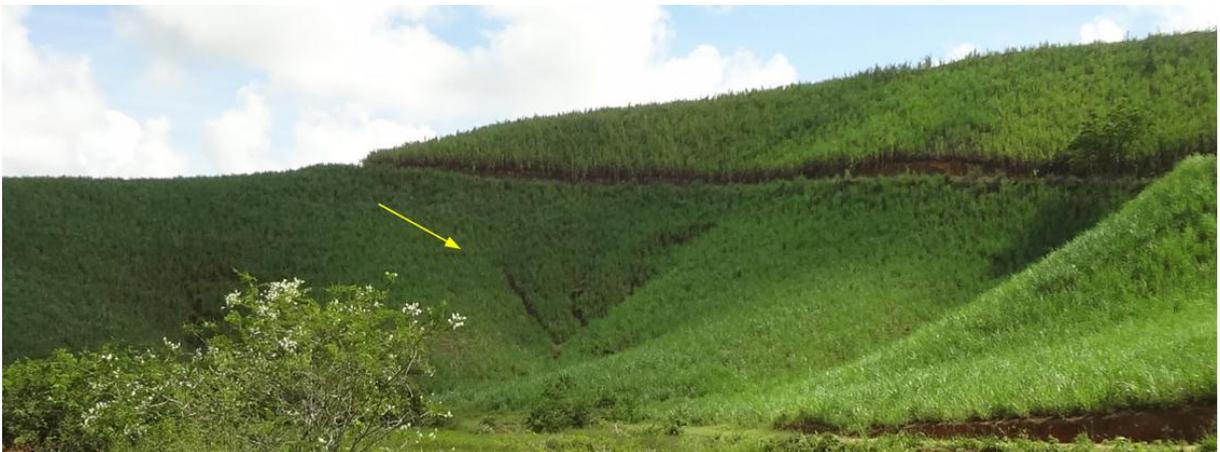


Figura 22. Mapa de cicatrizes dos movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca (GEGEP/UFPE, 2014).



**Figura 23.** Na parte inferior da foto, é observável um deslizamento de solo na Formação Cabo (Kc).



**Figura 24.** Cicatriz de ravinamento provocada pelo escoamento hídrico no Complexo Gnáissico-migmatítico (Px).



**Figura 25.** Cicatriz de voçorocamento observada na Formação Barreiras (Nqb).

## 5.2 Mapa Geológico

Realizando a correlação do mapa geológico com o mapa de cicatrizes, observa-se que a unidade NY3 apresenta o maior índice de cicatrizes enquanto que os sedimentos recentes não apresentaram ocorrências (Tabela 20).

Tabela 20. Correlação entre as unidades geológicas com a frequência de cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

Unidade Geológica	Área da Unidade (km <sup>2</sup> )	Quantidade Cicatrizes				
		DES*	RAV*	VOÇ*	Total	(%)
Ka	13,24	3	40	0	43	6,19
Kc	16,74	6	48	0	54	7,77
Ke	0,44	0	0	0	0	0
Kibs	0,39	0	0	0	0	0
Kiig	3,26	0	12	0	12	1,73
Kirl	3,61	0	8	0	8	1,15
Kitq	5,14	0	0	0	0	0
Nqb	25,76	3	26	6	35	5,04
Ny2	32,98	3	19	2	24	3,45
Ny3	116,44	52	274	3	329	47,34
Ny5	6,1	4	10	0	14	2,01
Px	146,34	32	142	2	176	25,32
Qal	15,11	0	0	0	0	0
Qdfi	69,26	0	0	0	0	0
Qm	37,06	0	0	0	0	0
Qp	3,17	0	0	0	0	0
Qth	8,53	0	0	0	0	0
Qtp	5,61	0	0	0	0	0

\*DES – Deslizamento; \*RAV – Ravinamento; \*VOÇ - Voçorocamento.

De acordo com as Figuras 26 e 27, a maior concentração de ocorrência das cicatrizes foi observada no embasamento cristalino, parte oeste do município, onde as litologias Ny3, Px, Ny2 e Ny5 apresentaram 329 (47,34%), 176 (25,32%), 24 (3,45%) e 14 (2,01%) cicatrizes, respectivamente. Este fato pode ser explicado pela utilização intensiva da região para o cultivo da cana-de-açúcar e, em função do solo residual com mais de 30 metros de espessura com textura que variam de argilosa a

muito argilosa que em função da declividade e forma de vertente tendem a sofrer mais processos erosivos.

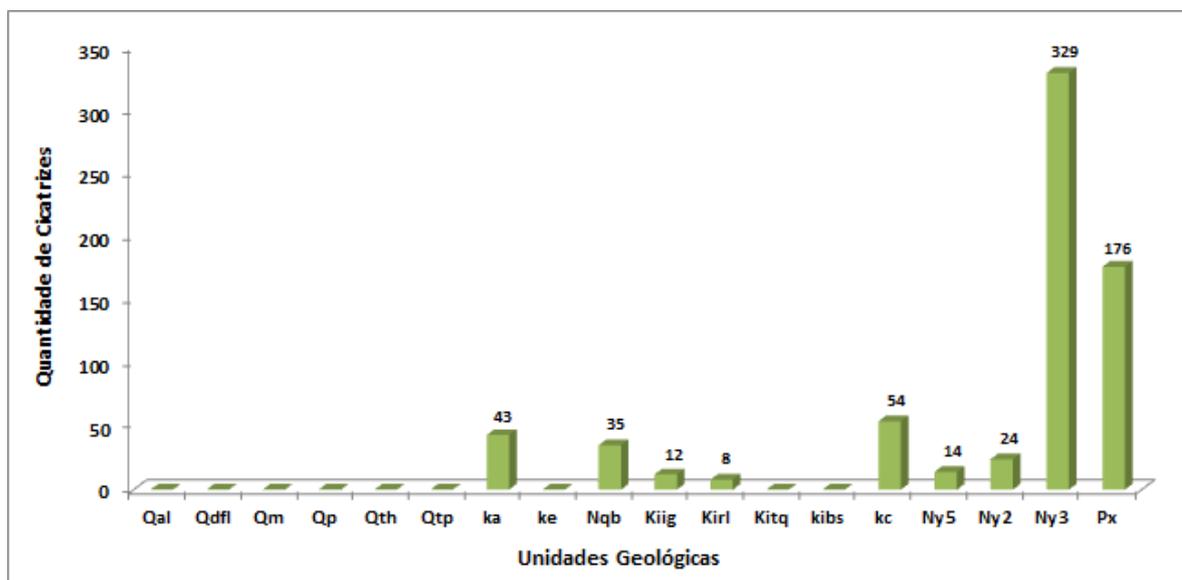


Figura 26. Correlação entre as unidades geológicas e a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

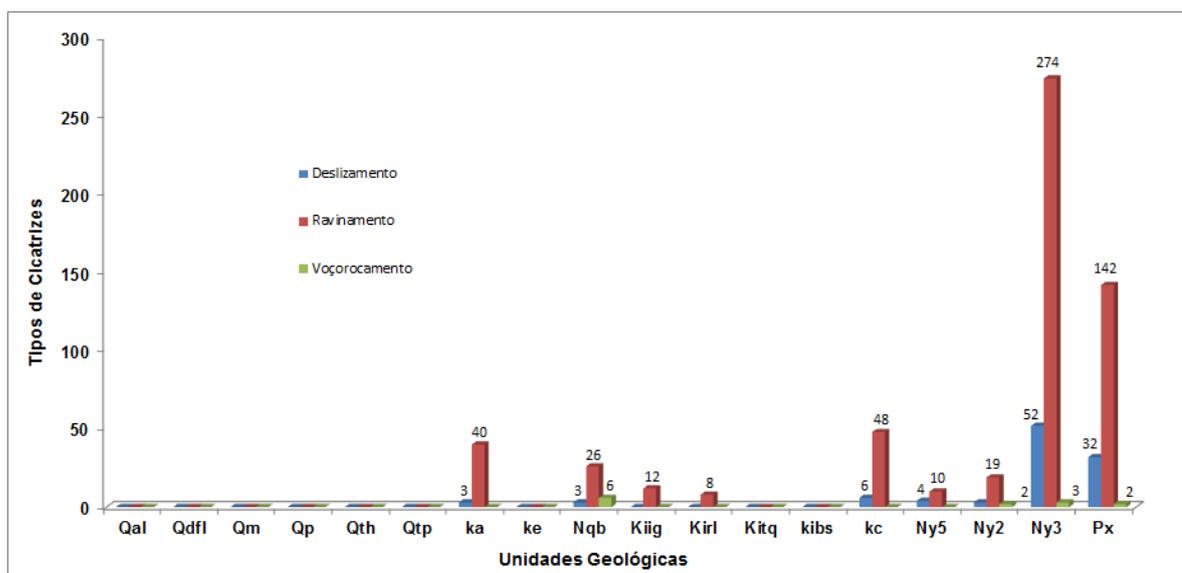


Figura 27. Distribuição dos tipos de cicatrizes nas unidades geológicas (GEGEP/UFPE, 2014).

Na Bacia Cabo, localizada no litoral da região, as litologias Kc, Ka, Nqb, Kiig, e Kirl apresentaram 54 (7,7%), 43 (6,19%), 35 (5,04%), 12 (1,73%) e 8 (1,15%) respectivamente. Entretanto, mesmo apresentando certa declividade, não foi observada nenhuma ocorrência de cicatrizes nas litologias Kibs, Kitq.

As litologias Qal, Qdfl, Qm, Qp, Qth, Qtp e Ke não apresentaram ocorrências de cicatrizes em função da baixa declividade e permeabilidade do material.

### 5.3 Perfil Vertical e Horizontal das encostas

De acordo com Araujo (2006), as curvaturas horizontais e verticais combinadas representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam propriedades hidrogeológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos, indiretamente. Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento). As combinações intermediárias têm características hidrogeológicas mais dependentes das relações entre intensidades (módulos) dos efeitos individuais de cada componente.

Como resultado da combinação das curvaturas vertical e horizontal em relação aos níveis de suscetibilidade, as formas côncava-convergente, retilínea-convergente e côncava-planar apresentam uma suscetibilidade alta. As formas convexa-convergente, côncava-divergente e convexa-divergente foram classificadas com uma suscetibilidade média, enquanto as formas convexa-planar, retilínea-planar e retilínea-divergente como uma suscetibilidade baixa. Na forma côncava-convergente ocorre a maior concentração e acúmulo do escoamento hídrico, enquanto que na forma convexa-divergente ocorre a máxima dispersão hídrica (Figura 28).

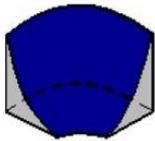
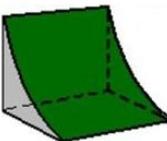
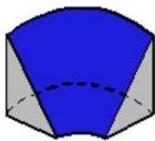
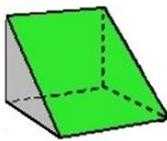
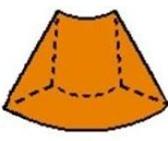
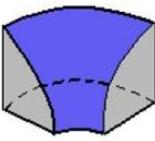
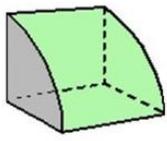
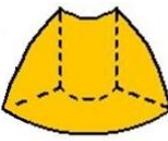
		Curvatura Horizontal		
		Convergente	Planar	Divergente
Curvatura Vertical	Côncava			
	Retilínea			
	Convexa			

Figura 28. Classificação tridimensional das vertentes. Fonte: GEGEP/UFPE (2014) a partir de Dikau, 1990.

## 5.4 Mapa da Declividade

Realizando a correlação do mapa de declividade com o mapa de cicatrizes (Tabela 21) pode-se observar que nos intervalos 11°-17°, 17°-27° e 27°-45°, ocorre o maior número de cicatrizes 138 (19,86%) 183 (26,33%) e 177 (25,47%) respectivamente, seguido pelo intervalo >45° com 69 (9,93%) e o intervalo 0 – 7° apresentando a menor quantidade com 55 (7,91%), todos representados nas Figuras 29 e 30.

Tabela 21. Área e percentual das cicatrizes para os intervalos de declividade (GEGEP/UFPE, 2014).

Intervalo de Declividade (°)	Área da Unidade (km <sup>2</sup> )	Quantidade de Cicatrizes				
		DES*	RAV*	VOÇ*	Total	(%)
0 – 7°	265	15	39	1	55	7,91
7° - 11°	64	19	53	1	73	10,50
11° - 17°	75	20	117	1	138	19,86
17° - 27°	63	19	158	6	183	26,33
27° - 45°	44	24	149	4	177	25,47
> 45°	17	6	63	0	69	9,93

\*DES – Deslizamento; \*RAV – Ravinamento; \*VOÇ - Voçorocamento.

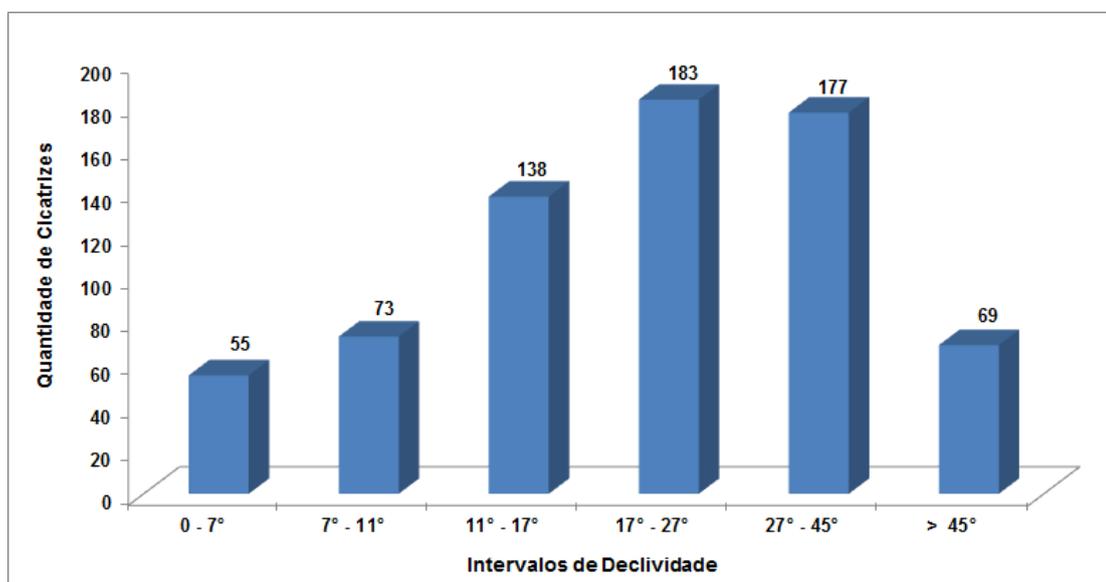


Figura 29. Correlação entre os intervalos de declividades com a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

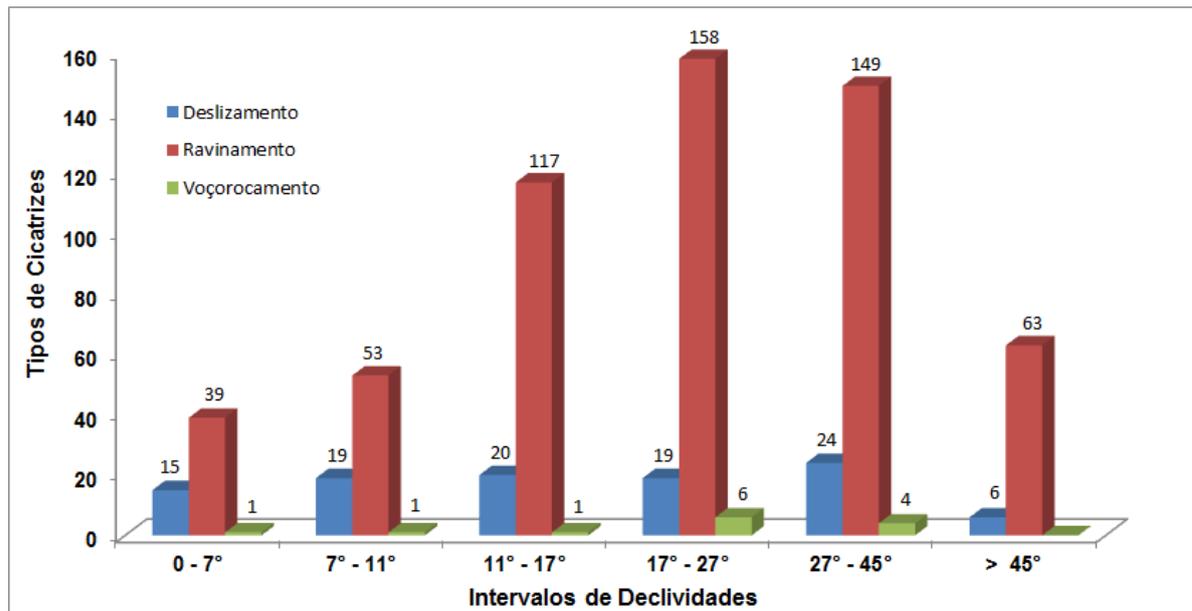


Figura 30. Distribuição dos tipos de cicatrizes nos intervalos de declividades (GEGEP/UFPE, 2014).

O intervalo de declividade  $>45^\circ$  exibiu menor quantidade de cicatrizes em comparação aos intervalos  $11^\circ-17^\circ$ ,  $17^\circ-27^\circ$  e  $27^\circ-45^\circ$ . Entretanto, o intervalo  $0-7^\circ$  apesar de apresentar a maior área com relação aos outros intervalos, grande parte encontra-se na planície costeira, litoral do município, em regiões onde ocorrem vertentes com baixo potencial de movimentação gravitacional.

### 5.5 Mapa de Uso e ocupação da terra.

Correlacionando com o mapa de cicatrizes (Tabela 22), observa-se que a classe de Cultura Temporária, que compreende ao plantio de cana de açúcar, apresenta a maior porcentagem de ocorrências com 91,94% em todo o município, enquanto que a classe de Corpos de Água, Mineração e as Áreas Industriais não apresentaram ocorrências (Figuras 31 e 32).

Tabela 22. Área e percentual das cicatrizes para as classes de uso e ocupação da terra (GEGEP/UFPE, 2014).

Classes de Uso	Área da Unidade km <sup>2</sup>	Quantidade de Cicatrizes				
		*DES	*RAV	*VOÇ	Total	(%)
Áreas Industriais	17	0	0	0	0	0
Áreas Urbanizadas	13	49	0	0	49	7,05
Corpos de Água	16	0	0	0	0	0
Culturas Permanentes	17	0	0	1	1	0,14
Cultura Temporária	316	52	579	8	639	91,94
Espaços Abertos	5	0	0	3	3	0,43
Florestas	67	2	0	1	3	0,43
Mineração	1	0	0	0	0	0
Terras Úmidas	73	0	0	0	0	0

\*DES – Deslizamento; \*RAV – Ravinamento; \*VOÇ - Voçorocamento.

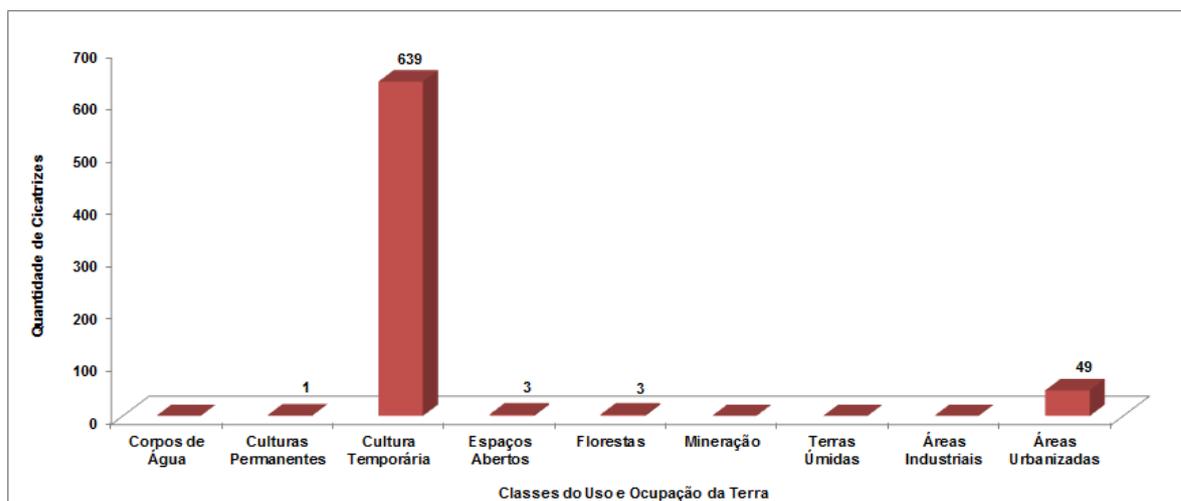
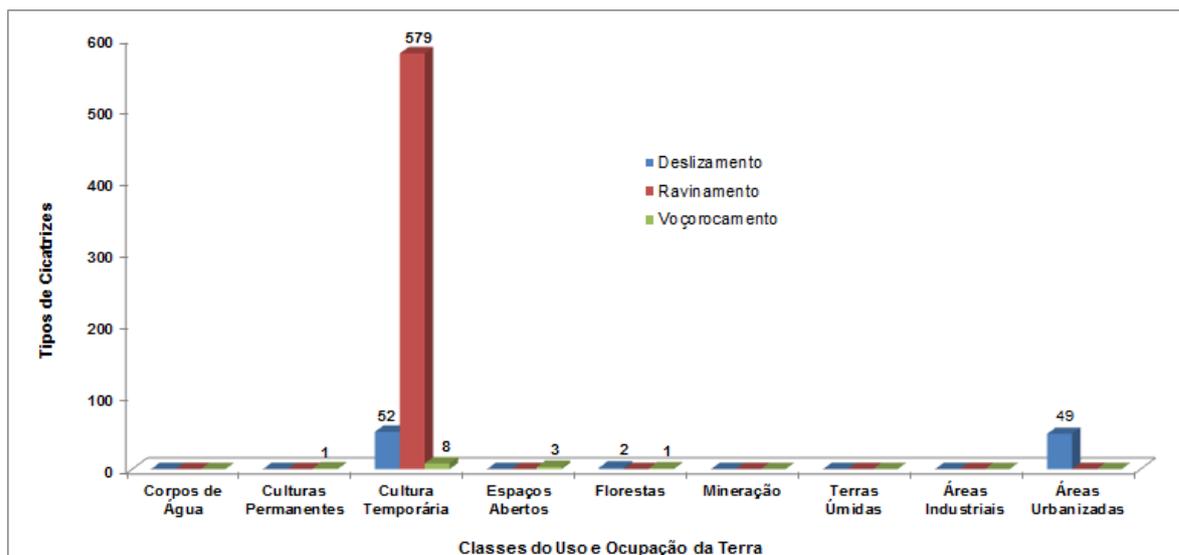


Figura 31. Correlação entre as classes do Uso da Terra com a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).



**Figura 32. Distribuição dos tipos de cicatrizes para as classes de Uso e Ocupação da Terra (GEGEP/UFPE, 2014).**

As Áreas Industriais estão concentradas no extremo nordeste do município e ocupam 17 km<sup>2</sup>, correspondente a 3,18% da região. Estão vinculadas as usinas de cana-de-açúcar, estabelecimento de ensino e pesquisa e, principalmente, com relação ao Complexo Portuário e Industrial de Suape.

As Áreas Urbanizadas, com 49 (7,05%) cicatrizes são constituídas pelos centros urbanos, habitações unifamiliares e aglomerados subnormais, representam 13 km<sup>2</sup> de Ipojuca, estão concentradas na parte leste do município.

Os Corpos de Água, concentrados principalmente no litoral, representam 16km<sup>2</sup> (3,1%) da área, e neles estão incluídos os reservatórios, como as represas, diques e barragens, além dos rios, lagos e lagoas.

As Culturas Permanentes, com apenas 1 (0,14%) cicatriz, incluem as áreas antrópicas agrícolas com o cultivo diversos, representando 17 km<sup>2</sup> (3,33%) como o de frutas que pode ser representado pelos coqueirais. São representadas por pequenas ocorrências no extremo oeste, estando a maior parte localizada no litoral e extremo norte do município.

As Culturas Temporárias estão representadas pela cana de açúcar, que corresponde a maior área com 316km<sup>2</sup> (60,2%) do município. Nesta classe foi observada a maior concentração de cicatrizes com 639 (91,94%) em função ao manuseio da terra, como por exemplo, a abertura de estradas e queimadas deixando o solo exposto. Está concentrada no extremo oeste, sendo de grande importância para a economia da região (Figura 33).



**Figura 33. Relevo suavemente ondulado com cultivo de cana-de-açúcar.**

Os Espaços Abertos, com 3 cicatrizes (0,43%), representam 5 km<sup>2</sup> (1%) do município e englobam áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal por erosão ou que foram expostas para construção. Estão localizados ao longo do litoral e nas proximidades do Complexo Portuário e Industrial de Suape (Figura 34 e 35).



**Figura 34. Extração de material de construção ampliando o gradiente do solo.**



**Figura 35. Área exposta à erosão devido a extração de material para construção.**

As Florestas abrangem 67 km<sup>2</sup> (12,16%) da área, estando bem distribuídas por toda a região. Representam as áreas de vegetação natural como as matas, matas ciliares, restinga e vegetação arbustiva. Nesta classe foram observadas 3 (0,43%) cicatrizes.

As áreas de Mineração representam apenas 1 km<sup>2</sup> (0,17%) da área, e compreendem as áreas de extração mineral a céu aberto e áreas de material de empréstimo. Nesta classe não há ocorrência de cicatrizes.

Nas Terras Úmidas Interiores e Costeiras não houve ocorrência de cicatrizes. Representam 73km<sup>2</sup> (13,9%) incluem as áreas alagadas (as terras úmidas não florestadas como os brejos) e os Mangues (as áreas especiais protegidas, como as unidades de conservação e refúgio da vida silvestre). Estão localizadas por todo o litoral, com pequenas ocorrências ao longo do município (Figura 36).



**Figura 36. Áreas alagadas naturais nas proximidades de Porto de Galinhas.**

## 5.6 Mapa de Solos

Através da correlação com o mapa de cicatrizes foi observado na Tabela 23, que a classe LA9, localizada no extremo oeste, apresenta uma área 135,65 km<sup>2</sup> (26,91%), a maior do município, e também o maior valor de frequência das cicatrizes de todo o município com 37,99%. Este fato pode ser justificado através da intervenção humana, como abertura de estradas e o manejo da terra na agricultura, enquanto as classes AM, HP1, LA8, PA3, PA6, SM e TR não apresentaram ocorrências (Figuras 37 e 38).

Tabela 23. Área e percentual das cicatrizes para as unidades de mapeamento dos solos (GEGEP/UFPE, 2014).

Unidades de Mapeamento do Solo	Área da Unidade (km <sup>2</sup> )	Quantidade de Cicatrizes				
		*DES	*RAV	*VOÇ	Total	(%)
AM	24,11	0	0	0	0	0
AQ1	6,03	0	4	0	4	0,58
G1	36,65	2	16	0	18	2,59
G2	51,2	6	58	1	65	9,35
G5	11,62	0	3	1	4	0,58
HP1	7,46	0	0	0	0	0
LA8	0,45	0	0	0	0	0
LA9	135,65	44	216	4	264	37,99
PA3	0,43	0	0	0	0	0
PA4	53,29	5	141	2	148	21,29
PA7	19,17	18	71	4	93	13,38
PA6	0,75	0	0	0	0	0
PV2	22,85	18	23	0	41	5,90
PV3	58,82	10	31	1	42	6,04
PV6	9,75	0	16	0	16	2,30
SM	64,57	0	0	0	0	0
TR	1,31	0	0	0	0	0

\*DES – Deslizamento; \*RAV – Ravinamento; \*VOÇ - Voçorocamento.

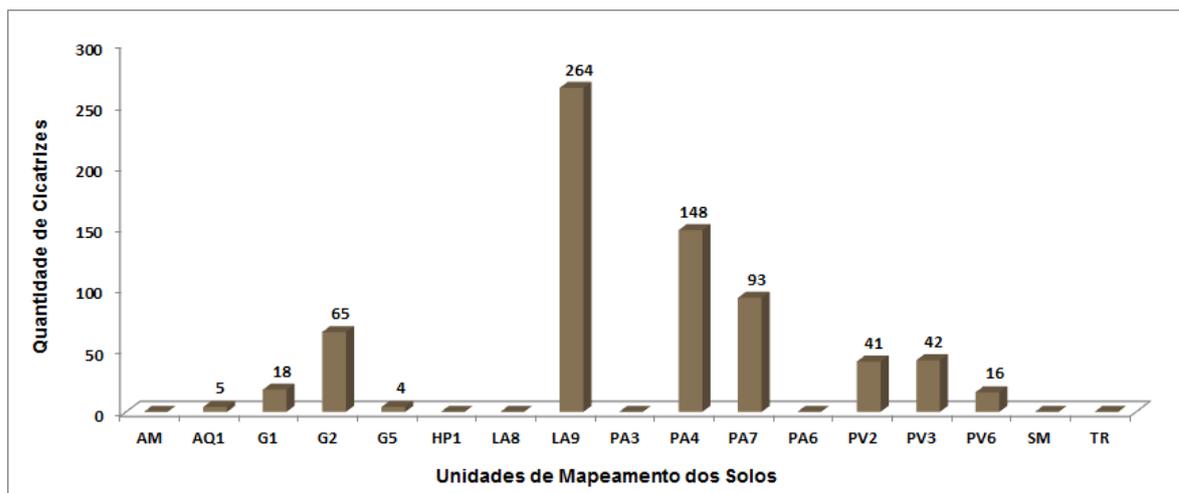


Figura 37. Correlação entre as classes de solos com a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

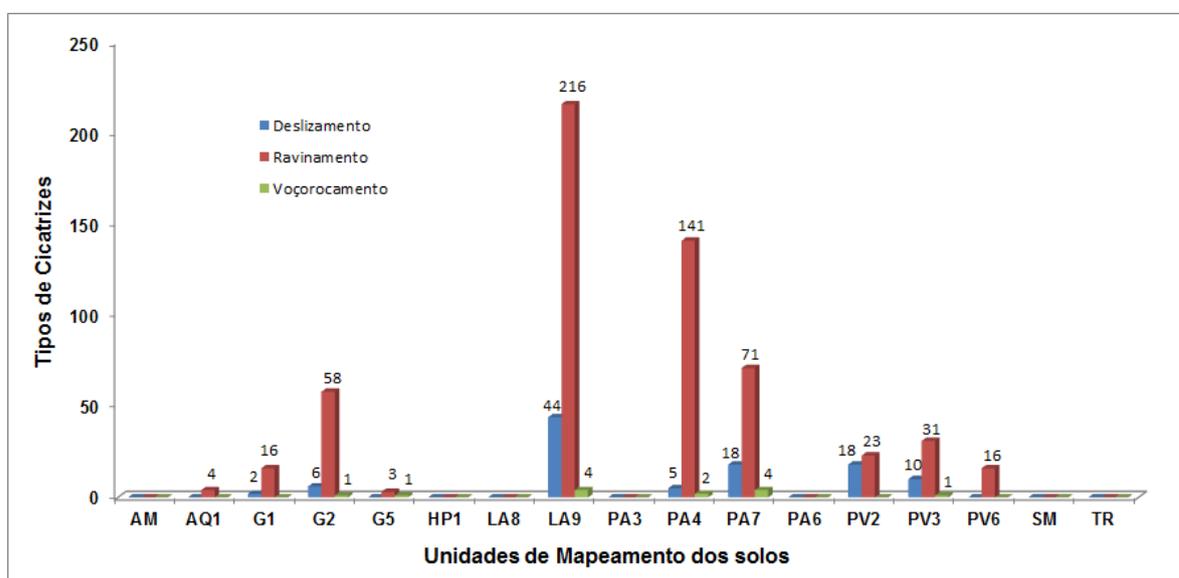


Figura 38. Distribuição dos tipos de cicatrizes para as unidades de mapeamento dos solos (GEGEP/UFPE, 2014).

A unidade de mapeamento LA9 contém a maior ocorrência com 264 (37,99%) de cicatrizes, em função de a mesma apresentar uma área 135,65 km<sup>2</sup> (26,91%) de todo o município. Vale ressaltar que o mapa das unidades de mapeamento dos solos utilizado neste trabalho foi elaborado com a escala 1:100.000, este fato pode explicar a presença de cicatrizes de ravinamentos na unidade classificada como AQ1 (Areais Quartzosas) (Tabela 09). A explicação admissível para isto é que estas cicatrizes devem estar presentes em solos vizinhos (Argissolo, Latossolo ou Gleissolo), entretanto, devido à escala do mapeamento não foram detalhados.

## 5.7 Matriz de Correlação

Para o município de Ipojuca, houve a necessidade de montar duas matrizes de correlação para verificação dos pesos hierárquicos (Tabelas 24 e 25), pois o município apresenta comportamento geológico, pedológico, de curvatura e de declividade distintos entre a Bacia Cabo e o Embasamento Cristalino.

**Tabela 24. Matriz de Correlação do Embasamento Cristalino (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>Critérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura</b>
<b>Uso</b>	1	0,25	0,25	0,17	0,17
<b>Geologia</b>	4	1	1	0,17	0,17
<b>Solos</b>	4	1	1	0,17	0,17
<b>Declividade</b>	6	6	6	1	1
<b>Curvatura</b>	6	6	6	1	1

Utilizando a escala de Saaty (2008), foi realizada a comparação entre os critérios de cada coluna com relação às linhas da matriz de correlação para o Embasamento Cristalino. Os critérios de Geologia e o Solo foram considerados com uma importância intermediária (4), onde as suas características são consideradas expressivas em comparação ao Uso (da Terra). Por outro lado, entre estes foram ponderados de mesma importância (1) quando comparados entre si.

A Declividade e a Curvatura foram consideradas com uma importância bastante significativa (6) com relação aos critérios de Uso (da Terra), Geologia e Solos. Entretanto, foram consideradas de mesma importância (1) quando correlacionadas entre si.

**Tabela 25. Matriz de Correlação da Bacia Cabo (GEGEP/UFPE, 2014).**

<b>Crítérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura</b>
<b>Uso</b>	1	0,17	0,17	0,17	0,17
<b>Geologia</b>	6	1	1	0,25	0,25
<b>Solos</b>	6	1	1	0,25	0,25
<b>Declividade</b>	6	4	4	1	1
<b>Curvatura</b>	6	4	4	1	1

A comparação entre os critérios de cada coluna com relação às linhas da matriz para a Bacia Sedimentar Cabo, a Geologia, o Solo, a Declividade e a Curvatura, foram considerados com uma importância significativa (6) em comparação com o critério do Uso (da Terra).

O Solo foi considerado com mesma importância (1) ao ser comparado com a Geologia.

A Declividade e a Curvatura foram consideradas de uma importância intermediária (4), com uma influencia significativa, com relação aos critérios da Geologia e do Solo. Entretanto, elas foram ponderadas de mesma importância (1) quando correlacionadas entre si.

Desta forma, foi elaborada a matriz de normalização (Tabelas 26 e 27) e posteriormente foi realizada a divisão do somatório de cada linha pelo número de critérios analisados: Uso, Geologia, Solos, Declividade e Curvatura, permitindo assim determinar os pesos de cada critério analisado.

Tabela 26. Matriz de Normalização para o Embasamento Cristalino (GEGEP/UFPE, 2014).

<b>Critérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura</b>	<b>PESO</b>
<b>Uso</b>	0,05	0,02	0,02	0,07	0,07	<b>0,04</b>
<b>Geologia</b>	0,19	0,07	0,07	0,07	0,07	<b>0,09</b>
<b>Solos</b>	0,19	0,07	0,07	0,07	0,07	<b>0,09</b>
<b>Declividade</b>	0,29	0,42	0,42	0,40	0,40	<b>0,39</b>
<b>Curvatura</b>	0,29	0,42	0,42	0,40	0,40	<b>0,39</b>

Tabela 27. Matriz de Normalização para a Bacia Cabo (GEGEP/UFPE, 2014).

<b>Critérios</b>	<b>Uso</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Curvatura</b>	<b>PESO</b>
<b>Uso</b>	0,04	0,02	0,02	0,06	0,06	<b>0,04</b>
<b>Geologia</b>	0,24	0,10	0,10	0,09	0,09	<b>0,12</b>
<b>Solos</b>	0,24	0,10	0,10	0,09	0,09	<b>0,12</b>
<b>Declividade</b>	0,24	0,39	0,39	0,38	0,38	<b>0,36</b>
<b>Curvatura</b>	0,24	0,39	0,39	0,38	0,38	<b>0,36</b>

Para avaliar a coerência dos resultados foi calculada a Razão de Consistência (RC) das matrizes do Embasamento Cristalino e da Bacia Sedimentar Cabo, onde ambos apresentaram um valor de 0,07, atendendo o requisito de que o RC deve ser inferior a 0,10 para considerá-lo adequado à realização de superposição dos mapas.

## 5.8 Carta de Suscetibilidade

Em seguida, através da ferramenta *Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator*, foi gerada uma equação matemática para cada matriz e a álgebra dos mapas temáticos (Figura 39) pode então ser realizada para a confecção do mapa final através do mosaico dos mesmos (Embasamento Cristalino e Bacia Sedimentar do Cabo).

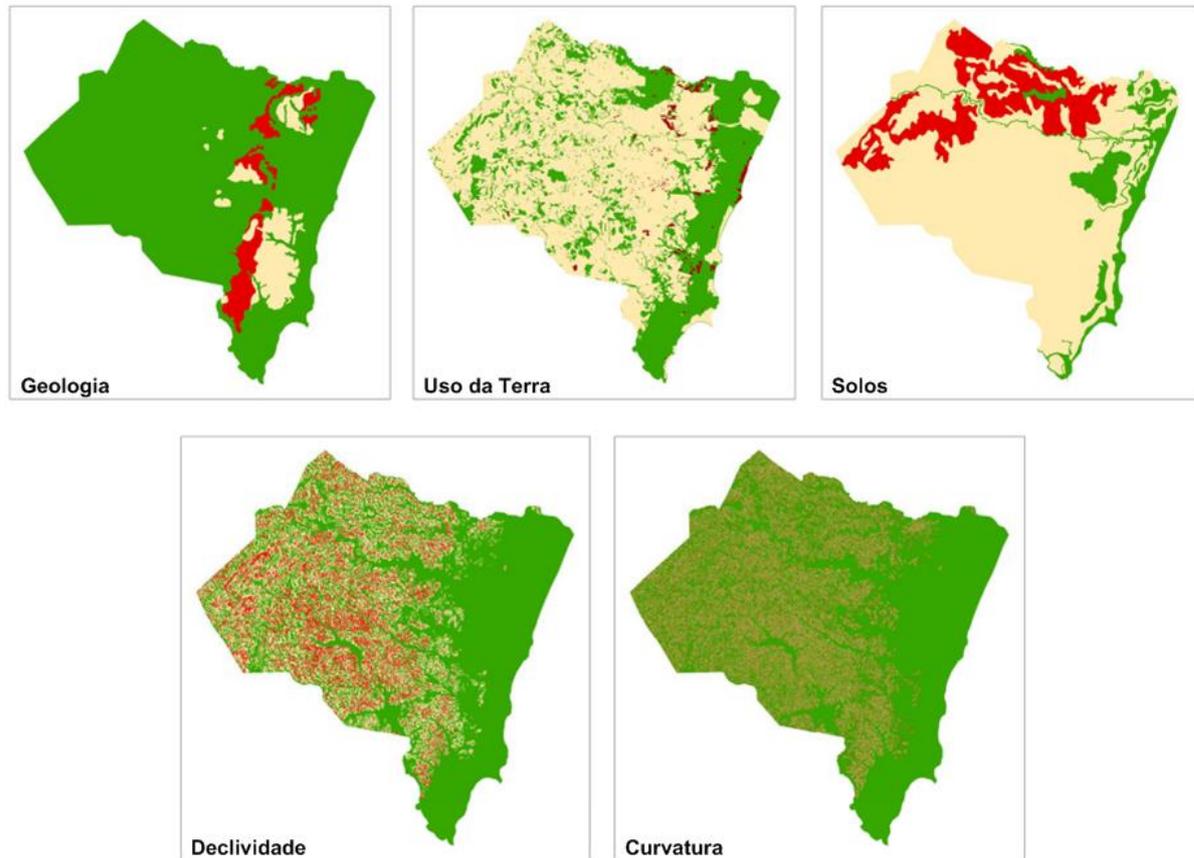


Figura 39. Mapas temáticos utilizados na álgebra (GEGEP/UFPE, 2014).

Embasamento Cristalino:

$$\text{Suscetibilidade} = 0,04 * \text{Uso} + 0,09 * \text{geologia} + 0,09 * \text{solos} + 0,39 * \text{declividade} + 0,39 * \text{curvatura}.$$

Bacia Sedimentar do Cabo:

$$\text{Suscetibilidade} = 0,04 * \text{Uso} + 0,12 * \text{geologia} + 0,12 * \text{solos} + 0,36 * \text{declividade} + 0,36 * \text{curvatura}.$$

O mapa inicial que foi gerado é do tipo raster, no formato GRID, apresentando dez classes de suscetibilidade, o que levou a sua reclassificação posterior proporcionada através da função estatística chamada Manual, encontrada no *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*, definindo então apenas três classes denominadas: Baixa Suscetibilidade, Média Suscetibilidade e Alta Suscetibilidade (Tabela 28).

**Tabela 28. Características utilizadas na classificação do Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e erosão (GEGEP/UFPE, 2014).**

Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão		Características
<b>3</b>	<b>Alto</b>	Predomínio de declividades altas (a partir de 27°), solos espessos e com alto teor de argila, áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal superficial, impermeáveis ou voltadas para o uso agrícola e litologia e estruturas geológicas favoráveis ao desencadeamento de MGM. Densidade de drenagem elevada. Encostas côncava-convergente, retilínea-convergente e côncava-planar.
<b>2</b>	<b>Médio</b>	Declividade variando de 11° a 27°, áreas com vegetação pouco preservada ou com tipos menos adequados e degradados, solo espesso e bem drenado, uso agrícola e/ou áreas impermeabilizadas, litologia e estruturas geológicas mediamente favoráveis ao desencadeamento de MGM. Encostas convexa-convergente, côncava-divergente e convexa-divergente.
<b>1</b>	<b>Baixo</b>	Declividade baixa (< 11°), solos arenosos, áreas onde afloramentos de rocha podem ser encontrados com estruturas geológicas pouco favoráveis ao desencadeamento de MGM, vegetação preservada, pouca drenagem. Encostas convexa-planar, retilínea-planar e retilínea-divergente.

Posteriormente, foi observado que nos topos planos das encostas não foram incluídas as áreas com potencial de deslizamento próximo as encostas (Figura 40A). Desta forma, foi realizado um detalhamento nestas áreas, onde foi acrescentado um “buffer” (zona de transição intermediária) de distância com 12 metros de largura, distribuídos em 5 metros para áreas consideradas com alta suscetibilidade e 7 metros para as áreas com suscetibilidade média (Figura 40B). Estes valores são estimativos, e, portanto, qualquer ocupação permanente nas áreas posterior ao buffer (consideradas de baixa suscetibilidade) devem estar atentas a qualquer

indicação de possível movimentação do solo.

No caso das ocupações localizadas na base da encosta, deve-se resguardar uma área de potencial atingimento de massa dos deslizamentos advindos das encostas. Nos trechos onde a encosta tiver suscetibilidade média deve ser resguardada uma distância de pelo menos 12 metros. Para os trechos considerados com alta suscetibilidade, deve-se adicionar mais 5 metros de área com alta suscetibilidade e mais 7 metros para uma área com suscetibilidade média.

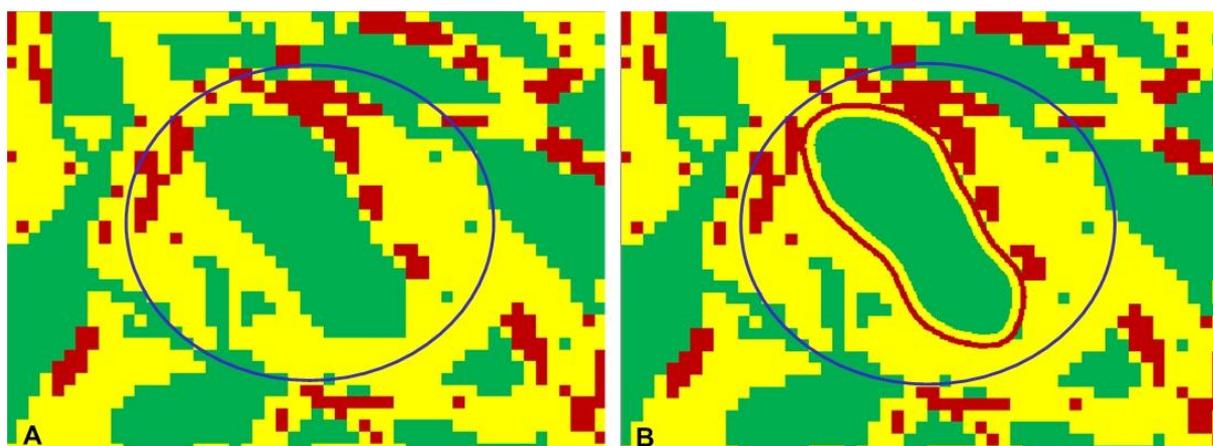


Figura 40. Buffer inserido nos topos das colinas (GEGEP/UFPE, 2014).

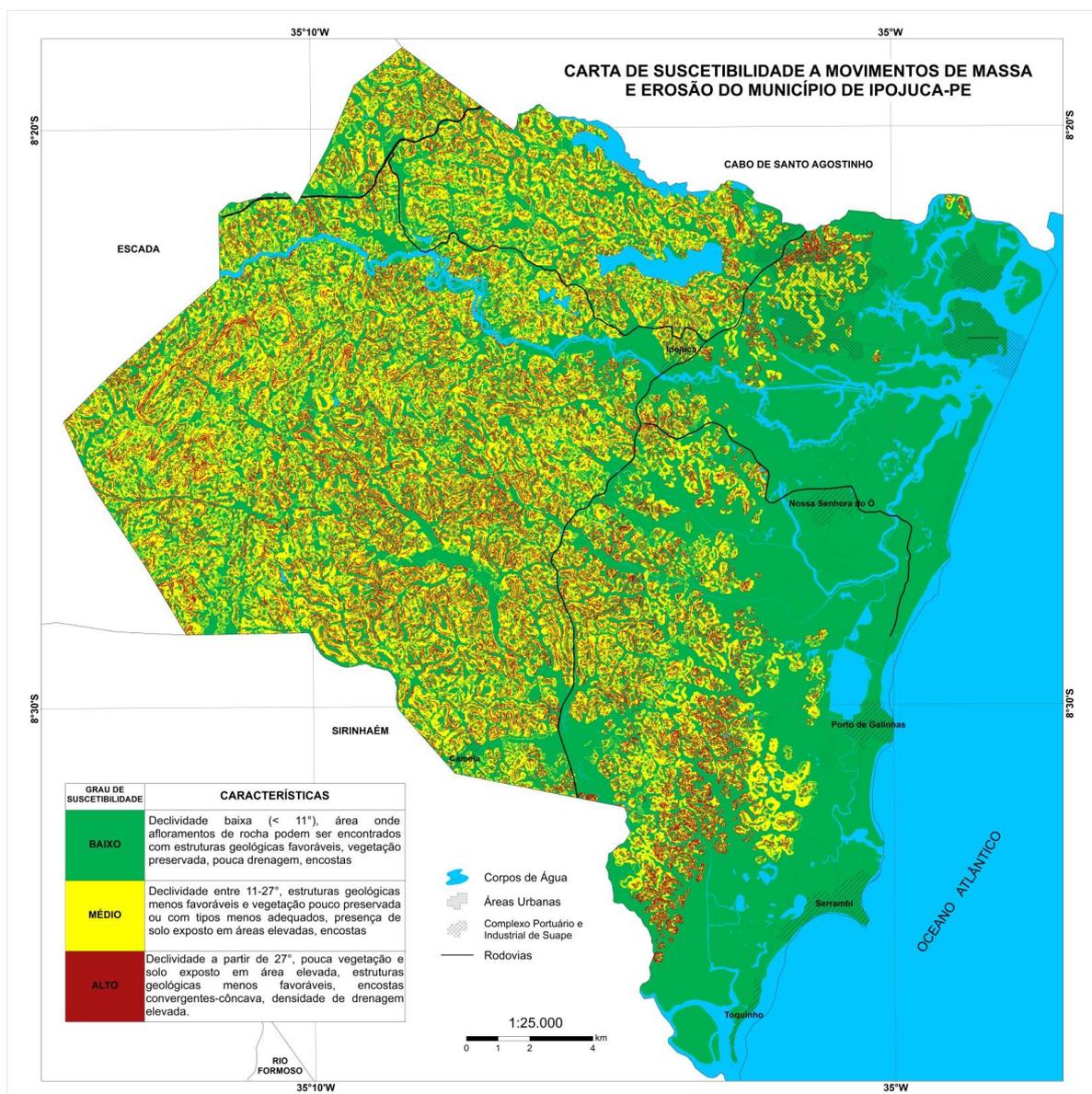
A partir dos dados obtidos na Tabela 28, foi possível a confecção da Carta de Suscetibilidade do município de Ipojuca (Figura 41).

Ao analisar a Carta de Suscetibilidade, foi observado que o município de Ipojuca apresenta 56% de áreas com baixa suscetibilidade, 31% com média suscetibilidade e 13% com alta suscetibilidade.

Este resultado pode ser explicado através da sobreposição dos mapas, que durante o cruzamento dos dados os valores dos mapas de declividade, curvatura e solo apresentaram uma influencia maior com relação aos valores dos mapas da geologia e uso da terra. Desta forma, pode-se observar que as áreas de Média e Alta Suscetibilidade estão localizadas no oeste do município, onde estão situados os valores de declividade mais acentuados em toda região além de solos que apresentam teores de argila com atividade alta e vertentes que favorecem um escoamento hídrico superficial mais concentrado que possa causar um desgaste excessivo do solo.

As áreas com suscetibilidade baixa estão localizadas na planície costeira do município, com valores de declividade baixos e vertentes pouco expressivas com relação ao fluxo hídrico.

Os pontos mais críticos do município ficaram ao sul, próximo a praia de Porto de Galinhas e ao norte, próximo ao Complexo Portuário e Industrial de Suape, onde estão localizadas as Formações Cabo e Algodois, litologias constituídas por conglomerados de seixos e blocos do embasamento e de seixos vulcânicos respectivamente.



**Figura 41. Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca.**

Observando os dados obtidos na Tabela 29 e a Figura 42, constata-se que apesar de menor expressão espacial, o grau de suscetibilidade Alto apresenta o maior percentual de ocorrências com 412 (59,28%) em todo o município, incluindo deslizamentos induzidos nos centros urbanos e de ravinamentos nos canaviais localizados nas proximidades dos mesmos.

Tabela 29. Percentual de cicatrizes para cada grau de suscetibilidade (GEGEP/UFPE, 2014).

GRAU de Suscetibilidade	Área km <sup>2</sup>	Quantidade de Cicatrizes				
		*DES	*RAV	*VOÇ	Total	(%)
<b>Alto</b>	59	55	346	11	412	59,28
<b>Médio</b>	148	44	196	1	241	34,68
<b>Baixo</b>	284	4	37	1	42	6,04

\*DES – Deslizamento; \*RAV – Ravinamento; \*VOÇ - Voçorocamento.

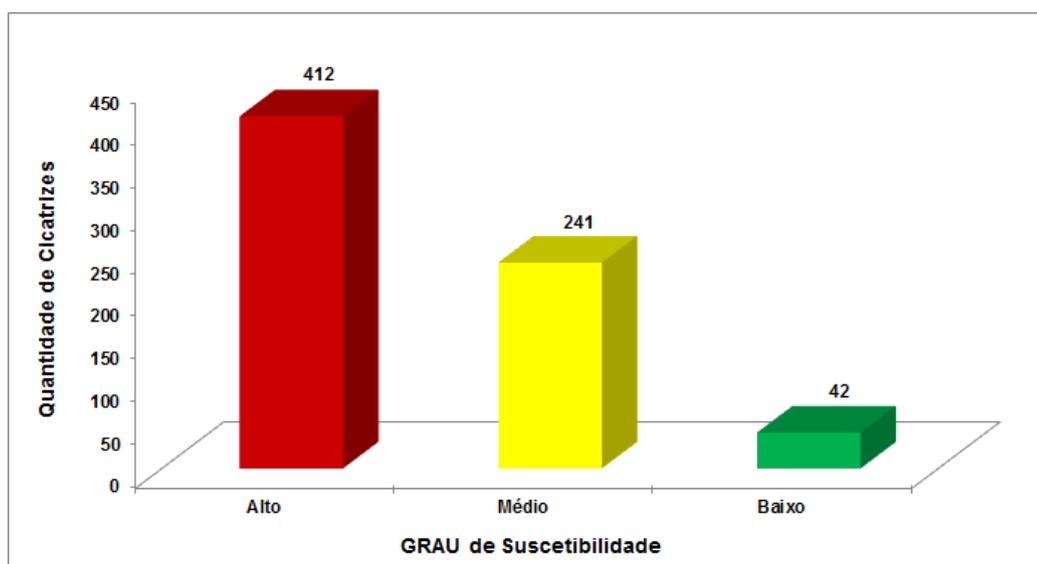


Figura 42. Correlação entre os graus de suscetibilidade com a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

As áreas de Média e Baixa suscetibilidade apresentam 241 (34,68%) e 42 (6,04%) respectivamente. Tal fato ressalta consonância entre o mapa de Cicatrizes (Figura 22) com a Carta de Suscetibilidade (Figura 37), o que valida os resultados obtidos.

**CONCLUSÕES**

O município de Ipojuca vem apresentando ao longo do tempo, vários processos erosivos, ravinamentos e voçorocamentos, e de movimento gravitacional, deslizamento, devido ao seu crescimento econômico e conseqüentemente urbano, onde grande parte encontra-se em áreas inadequadas para ocupação.

Ao analisar a Carta de Suscetibilidade, foi observado que dos 527,3 km<sup>2</sup>, o município de Ipojuca apresenta 284km<sup>2</sup> (56%) com áreas de suscetibilidade baixa, 148km<sup>2</sup> (31%) com suscetibilidade média e 59km<sup>2</sup> (13%) suscetibilidade alta.

A maior concentração das áreas mais críticas com alta suscetibilidade está localizada ao sul, próximo da praia de Porto de Galinhas, e ao norte, nas proximidades do Complexo Portuário e Industrial de Suape. Este resultado se deve ao fator geológico, pois estas áreas estão localizadas nas Formações Cabo (conglomerados de seixos e blocos do embasamento) e Algodoads (conglomerados de seixos vulcânicos) respectivamente, o que sugere maior atenção e estudos geotécnicos.

Durante a elaboração do mapa de inventário foram observados 695 cicatrizes de processos gravitacionais e erosivos, entre os quais 412 (59,28%) estão localizados nas áreas classificadas como alta suscetibilidade. As áreas com média e baixa suscetibilidade apresentaram 241 (34,68%) e 42 (6,04%) respectivamente.

A Carta de Suscetibilidade ora apresentada representa um avanço no conhecimento das áreas mais favoráveis à ocupação urbana, bem como as áreas a serem evitadas para implantação de projetos de usos diversos. Desta forma, a carta contribui para a atual indicação de áreas mais adequadas a expansão urbana durante a elaboração dos planos diretores municipais, auxiliando na locação de loteamentos e obras de infraestrutura.

No entanto, afigura-se como imperiosa, a execução de atualizações periódicas deste tipo de carta devido à acelerada dinâmica espacial e econômica da região, para a identificação dos locais mais suscetíveis a movimentos de massa e erosão.

## REFERÊNCIAS

---

ALHEIROS, M. M. **Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana de Recife**. Salvador, 1998. 135p. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração em Geologia Sedimentar) - Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, Salvador, 1998.

ALHEIROS, M. M.; MABESOONE J. M. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v.18, n.4, p.476-482, dez, 1988.

AMARAL, C. A.. **Geomorfologia e declividade do Município de Ipojuca/Pernambuco**. Recife: CPRM/FIDEM, 1998. 12p. 2 mapas.

ARAÚJO, E. P. de. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. São José Dos Campos-SP, 2006. 88f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial-INPE, São José dos Campos, 2006.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. p.721-733.

AGS – AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY. **Australian GeoGuides for slope management and maintenance**. Australian Geomechanics Society, Australian Geomechanics, Vol 42 No 1, March 2007. Disponível em:< [http://irm.australiangeomechanics.org/wp-content/uploads/2012/04/Geoguide\\_LR02\\_Landslides.pdf](http://irm.australiangeomechanics.org/wp-content/uploads/2012/04/Geoguide_LR02_Landslides.pdf) > Acesso em: 12 jan. 2013.

BANDEIRA, A. P. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Recife, 2003. 209p Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V.A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2, 1992, Pereira. **Anais**. Pereira: CARDER/INGEOMINAS/EAFIT/AGID/IUGS/IAEG/ONAD, 1992. p.35-41.

BITAR, O. Y. (Coord). et al. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações**: nota explicativa. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. N.p. (Publicação IPT, 3016).

CALDAS, A. M. **Solos, antropização e morfometria da microbacia do Prata**, Recife, 2007. 130p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal Rural de Pernambuco - URPE, Recife, 2007.

CARVALHO, C. M.; RIEDEL, P. S. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade a escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão – SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 16-21 abr. 2005, Goiânia-GO. **Anais**. Goiânia: INPE, 2005. p.2901-2908.

COUTINHO, R. Q; SILVA, M. M. **Estabilidade de taludes: desenvolvimento de material didático ou instrução** Recife: UFPE - Departamento de Engenharia Civil, 2006.

COUTINHO, R. Q. (Coord./Org.). **Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais**. Documento Técnico. Convênio Ministério das Cidades. Recife: GEGEP / UFPE, 2013.

COUTINHO, R. Q.; BANDEIRA, A. P. N. Processos de instabilização de encostas e avaliação do grau de Risco: estudo de caso nas cidades de Recife e Camaragibe. In: LACERDA, W. A. (Org.) et al. **Desastres naturais: suscetibilidade e risco, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012a.

COUTINHO, R. Q.; BANDEIRA, A. P. N. Gerenciamento de áreas de risco: Ações Estruturais e não Estruturais. In: Desastres Naturais: Suscetibilidade e Risco, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais. Org.: Willy Alvarenga Lacerda, et. al. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012b.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.2, n. 80, p.45-55, 1990.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

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

GEGEP/UFPE. **Elaboração de Cartas Geotécnicas de aptidão à Urbanização no município de Ipojuca, localizado na RMR, Estado de Pernambuco**. Convênio Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. Prof. Roberto Quental Coutinho (Coord. & Org.). 2014

GONÇALVES, F. S. **Mapeamento geológico do município de Ipojuca – PE**. Recife: UFPE/Curso de Geologia, 2014. 81p. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Geologia)-Curso de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

GUSMÃO FILHO, J. A; ALHEIROS, M. M. **Estudo das encostas ocupadas do Recife.** In: PAN AM SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, COBRAE, 2nd, 1997, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: IAEG/ABMS,1997. p.919.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Contagem da população Brasileira: 1996 e 2007; e Censo 2000 e 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>> Acesso em: 27 nov. 2012.

IPOJUCANOS.COM – O Portal da Cidadania Ipojucana. 2009. Disponível em: <<http://www.ipojucanos.com/Noticia.asp?ID=122>>. Acesso em: 14 out. 2012.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109p: il., tabs.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias:** Conceitos Básicos. Caderno Didático 1. Santa Maria (RS). Rio Grande do Sul: INPE. 2008. 40p.

MAGALHÃES. I. A. L.; THIAGO. C. R. L.; AGRIZZI. D. V.; SANTOS. A. R. **Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em guaçuí, es:** uma análise comparativa entre dois métodos. Cadernos de Geociências, v.8, n.2, p63-68, nov. 2011.

MARTINS, E. O. **Cadastro georreferenciado de erosões no Distrito Federal-DF.** Brasília, 2005. 114p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2005.

PASSOS, V. **Geografia e compreensão de mundo.** 2010. Disponível em: <<http://valdirenepassos.blogspot.com.br/2010/02/o-que-sao-movimentos-de-massa.html>> Acesso em 12 nov. 2012

PFALTZGRAFF, P. A. dos S. **Mapa de suscetibilidade a deslizamento da Região Metropolitana de Recife.** Recife, 2007. 120p. il. Inclui Bibliografia e Anexos. Tese (Doutorado em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental)-Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

PFALTZGRAFF, P. A. dos S et al. **Sistema de Informações Geoambientais da região metropolitana do Recife. Sistema Informações Georreferenciadas - SIG.** Recife: CPRM, 2003. 119 p. 4 Mapas. Escala 1:100.000. Programa de Gestão Territorial.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP. 2001a. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco03.html>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP. 2001b. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08.html>> Acesso em: 20 mar. 2013.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP. 2001c. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco04.html> > Acesso em: 20 mar. 2013.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. 2001. São Paulo: UNESP. 2001d. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/cartas/carta06.html>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP. 2001e. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09e.html>> Acesso em: 20 mar. 2013.

REIS, F. A. **Curso de geologia ambiental via internet**. São Paulo: UNESP. 2001f. Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09f.html>> Acesso em: 20 mar. 2013.

ROMÃO, P. A.; SOUZA, N. M. **Informações morfométricas na compartimentação do terreno – Goiânia (GO)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5, 16-18 nov. 2004, São Carlos-SP. Anais. São Carlos-SP: ABGE, 2004.

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

SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D de A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília: DNPM, 1984. 501p. il.

III SEMEA - SEMANA DE ENGENHARIA AMBIENTAL, PLANEJAMENTO, CONSERVAÇÃO E SOLUÇÕES, 3, 2010. **Erosão**. Disponível em: <[http://www.pgta.ufms.br/CursoEROSAO\\_PARTE1.pdf](http://www.pgta.ufms.br/CursoEROSAO_PARTE1.pdf)>. Acesso em: 16. jan. 2014

SILVA, F. B. R. E. et. al. **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e

Reforma Agrária), 2001. CD-Rom. (Embrapa Solos. Documentos n. 35).

USGS - Science for a Changing World. **Landslide types and processes**. US: Departamento of Interior, 2004. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>> Acesso em: 02. set. 2013.

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

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

VIERO, A. C. **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: bacia do Taboão, RS**. Porto Alegre, 2004. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.