

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

Charter of susceptibility to erosion and mass movements of the city of Ipojuca-PE

Fernanda Soares de Miranda Torres*

Roberto Quental Coutinho**

Cristiana Coutinho Duarte***

Jéssica Bezerra de Menezes****

Drielly Naamma Fonsêca*****

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff*****

RESUMO – A Carta de Suscetibilidade é um documento importante para subsidiar um planejamento urbano adequado ao considerar as características geoambientais e, dessa forma, ajudar municípios como Ipojuca, em Pernambuco, que vem apresentando um desenvolvimento urbano acelerado e desordenado nessa última década. Tendo em vista tais fatores, foi confeccionada a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca-PE, escala 1:25 000, com o intuito de auxiliar os projetos de gestão e planejamento territorial de interesse de órgãos públicos ou privados, através do conhecimento das características geológico-geotécnicas da região. Durante a elaboração da Carta, foi observado que 284km² (56%) da área do município apresenta suscetibilidade baixa, 148km² (31%) suscetibilidade média e 59km² (13%) suscetibilidade alta.

SYNOPSIS – The Charter of Susceptibility is an important document to appropriately support urban planning considering the geo-environmental characteristics and, thereby, help municipalities as Ipojuca, in Pernambuco, which has experienced a rapid and disorganized urban development in the last decade. Considering these factors, the Charter of Susceptibility to Erosion and Mass Movements of Ipojuca City, scale 1:25 000, was made with the aim of helping management projects and territorial planning of interest for public or private agencies, through knowledge of the geological and geotechnical characteristics of the region. During the drafting of the Charter, it was observed that 284km² (56%) of the municipal area has a low susceptibility, 148km² (31%) average susceptibility and 59km² (13%) high susceptibility.

PALAVRAS CHAVE – Suscetibilidade, movimentos de massa, erosão.

* Geóloga, PPGECC-UFPE/CPRM-SGB, Recife, PE, Brasil. E-mail: fernandasfm@yahoo.com.br

** Professor, Departamento de Engenharia Civil, UFPE, Recife, PE, Brasil. E-mail: rqc@ufpe.br

*** Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE. E-mail: cristiana.duarte@upe.br

**** Mestre em Geografia, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, UFPE. E-mail: jessica.menezesgeo@gmail.com

***** Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPE. E-mail: driellynaamma@gmail.com

***** Geólogo, CPRM-SGB, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: pedro.augusto@cprm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado e desordenado das cidades, que geralmente ocorre sem observar as limitações do meio físico, 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-PE 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.

Este trabalho está vinculado 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.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

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 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) Zona 25S.

2.1 – 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-EDGV (Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais). Para a verificação do seu georrefenciamento, 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.

2.2 – Mapa de cicatrizes dos movimentos de massa e erosão

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

2.3 – Mapa geológico

O mapa geológico utilizado neste trabalho foi confeccionado pelo GEGEP/UFPE (2014).

2.4 – Perfis vertical e horizontal das encostas

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.

2.5 – Mapa de solos

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

2.6 – 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.

O mapa de uso e ocupação da terra foi elaborado pelo GEGER/UFPE (2014), através da 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 (IBGE, 2013). Posteriormente, a realização do campo permitiu uma melhor averiguação e definição entre os limites das classes encontradas.

2.7 – 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°.

2.8 – 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 (Quadro 1). 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.

Quadro 1 – 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 considerado que as vertentes Côncava/Convergente, Convergente/Retilínea e Côncava/Planar apresentaram uma suscetibilidade de grau 3, as vertentes do tipo Convexa/Convergente, Convexa/Planar, Côncava/Divergente, Convexa/Divergente foram identificadas como grau 2, e as do tipo Retilínea/Planar e Retilínea/Divergente foram classificadas como grau 1 (Quadro 2).

Para realizar a classificação do mapa de solos, primeiro foi obtida a classificação de cada solo encontrado. Em seguida, houve a ponderação de acordo com a porcentagem dos mesmos para as unidades de mapeamento presentes no ZAPE (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 (Quadro 3).

Quadro 2 – Classificação do grau de suscetibilidade para as vertentes (GEGEP/UFPE, 2014).

Curvaturas horizontais/ verticais do terreno	Grau*	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		

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

Quadro 3 – Classificação das unidades de mapeamento (GEGEP/UFPE, 2014).

Unidades de mapeamento de solos		Grau*
AM	Areias quartzosas marinhas (1) + espodossolo (1)	1
AQ1	Areias quartzosas (1)	1
G1	Gleissolo (2) + cambissolo (2) + solos aluviais (2) + argissolos amarelos e acinzentados (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 acinzentado (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 acinzentado (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

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

Baseado na classificação das unidades geológicas, as formações Cabo e Algodoads foram classificadas com o grau 3. Entretanto, a Formação Cabo apresenta uma suscetibilidade superior com relação a Algodoads. 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 Sílticos Argilosos de Mangue e de Praia, os Terraços Marinhos 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 (Quadro 4).

Quadro 4 – Classificação do grau de suscetibilidade para as unidades litológicas (GEGEP/UFPE, 2014).

Unidade geológica		Grau*
Bacia do Cabo		
Kc	Formação Cabo – Conglomerado (seixos e blocos do embasamento)	3
Ka	Formação Algodoads – Conglomerado (seixos vulcânicos)	3
Nqb	Formação Barreiras (sedimentos argilo-arenosos, localmente conglomeráticos)	2
Kirl	Suíte Magmática Ipojuca – Riolito	2
Kitq	Suíte Magmática Ipojuca - Traquito	2
Kiig	Suíte Magmática Ipojuca – Ignibrito	2
Kibs	Suíte Magmática Ipojuca – Basalto	2
Ke	Formação Estiva – Calcário	1
Qal	Depósitos Aluviais	1
Qdfl	Sedimentos flúvio-lacustres	1
Qm	Sedimentos síltico-argilosos de mangue	1
Qp	Sedimentos de praia	1
Qth	Terraços Marinhos holocênicos	1
Qtp	Terraços Marinhos pleistocênicos	1
Embasamento Cristalino		
Ny2	Biotita-granito porfirítico	1
Ny3	Biotita-granito	1
Ny5	Quartzo Sienito	1
Px	Complexo Gnáissico-migmatítico	1

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

No mapa de Uso e Ocupação da Terra, as áreas de florestas, terras úmidas, praias 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 (Quadro 5).

Quadro 5 – Características dos graus de suscetibilidade do uso e ocupação da terra (GEGEP/UFPE, 2014).

Classes	Grau*	Características
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.	1	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).	2	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).	3	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.

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

Para o mapa de Declividade, os intervalos de 0-7° e 7°-11° foram classificados como grau 1, os intervalos de 11°-17° e 17°-27° como grau 2, e os intervalos de 27°-45° e > 45° como grau 3 (Quadro 6).

Quadro 6 – Classificação de grau para os intervalos de declividade (GEGEP/UFPE, 2014).

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

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

2.9 – 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 (Quadro 7) 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 no Quadro 8.

Quadro 7 – Matriz quadrada de correlação pareada (adaptado de Saaty, 2008).

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

Quadro 8 – Escala dos níveis de intensidade de importância (adaptado de Saaty, 2008).

Intensidade de importância de cada característica	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Dois 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 (ΣL) pelo número de critérios analisados na matriz, que neste caso foram cinco: geologia, pedologia, declividade, uso e curvatura (Quadro 9).

Quadro 9 – Matriz de normalização dos critérios analisados (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:

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

O Índice de Consistência é encontrado através da fórmula:

$$IC = (\lambda_{max}-n)/(n-1), \text{ onde } \lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{AW}{W_i} \quad (2)$$

sendo:

n - número de ordem da matriz

λ_{max} - autovetor

W_i - pesos calculados

AW - produto da matriz de correlação pareada com W_i .

O Índice Randômico é um valor encontrado em laboratório e pode ser adquirido no Quadro 10.

Quadro 10 – Valores de IR em função da ordem da matriz quadrada (adaptado de Saaty, 2008).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,53	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Para que as matrizes sejam consideradas aceitáveis, a razão de consistência ($RC = IC/IR$) 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 realizar a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Mapa de cicatrizes dos movimentos de massa e erosão

O mapa de cicatrizes foi elaborado através da interpretação e vetorização das imagens *WorldView*, *QuickBird* e do *Google Earth* entre o ano 2010 e 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 (Fig. 1).

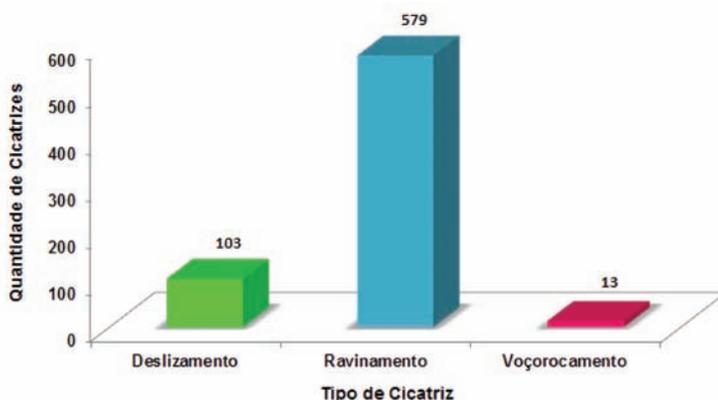


Fig. 1 – Quantidade vs. tipo de cicatriz no município de Ipojuca (GEGEP/UFPE, 2014).

Estas feições estão distribuídas ao longo da parte central e oeste do município, estando o maior agrupamento dos ravinamentos na região central (Figs. 2 a 4).



Fig. 2 – Na parte inferior da foto é observável deslizamento de solo na Formação Cabo (Kc).



Fig. 3 – Cicatriz de ravinamento provocada pelo escoamento hídrico no Complexo Gnáissico-migmatítico (Px).



Fig. 4 – Cicatriz de deslizamento observada na Formação Barreiras (Nqb).

3.2 – 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.

De acordo com a Fig. 5, 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 texturas que variam de argilosa a muito argilosa que em função da declividade e forma de vertente tendem a sofrer mais processos erosivos.

Na Bacia do 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 e Kitq.

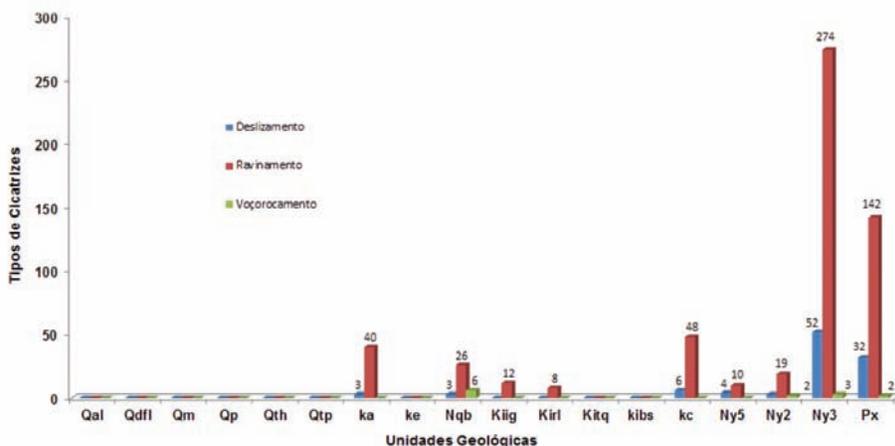


Fig. 5 – Distribuição dos tipos de cicatrizes nas unidades geológicas (GEGEP/UFPE, 2014).

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

3.3 – Perfis 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 côncavo-convergente, retilínea-convergente e côncava-planar apresentam uma suscetibilidade alta. As formas convexa-convergente, retilínea-planar e côncava-divergente foram classificadas com uma suscetibilidade média, enquanto as formas convexa-planar, retilínea-divergente e convexa-divergente com 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 (Fig. 6).

		Curvatura Horizontal		
		Convergente	Planar	Divergente
Curvatura Vertical	Côncava			
	Retilínea			
	Convexa			

Fig. 6 – Classificação tridimensional das vertentes (GEGEP/UFPE, 2014, a partir de Dikau, 1990).

3.4 – Mapa de declividade

Realizando a correlação do mapa de declividade com o mapa de cicatrizes 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 na Fig. 7.

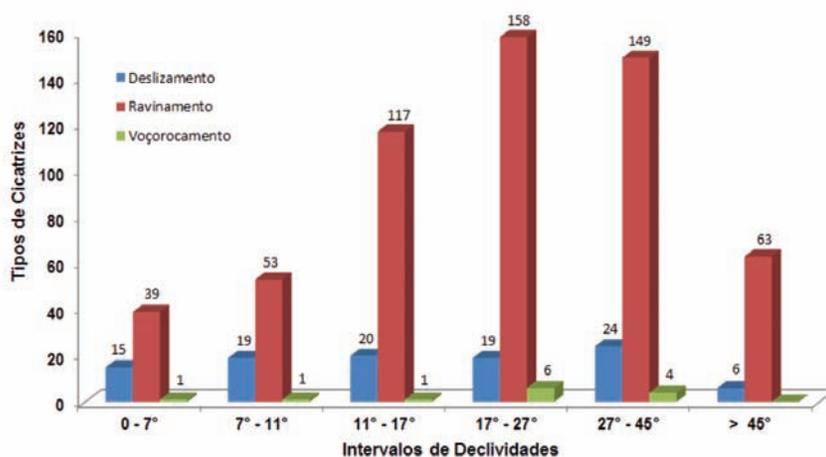


Fig. 7 – Distribuição dos tipos de cicatrizes nos intervalos de declividades (GEGEP/UFPE, 2014).

Por apresentar a menor área, o intervalo de declividade $>45^\circ$ exibiu menor quantidade de cicatrizes em comparação aos intervalos 17° - 27° e 27° - 45° . Entretanto, o intervalo 0 - 7° 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.

3.5 – Mapa de uso e ocupação da terra

Correlacionando com o mapa de cicatrizes, observa-se que a classe de Cultura Temporária, que compreende o 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 (Fig. 8).

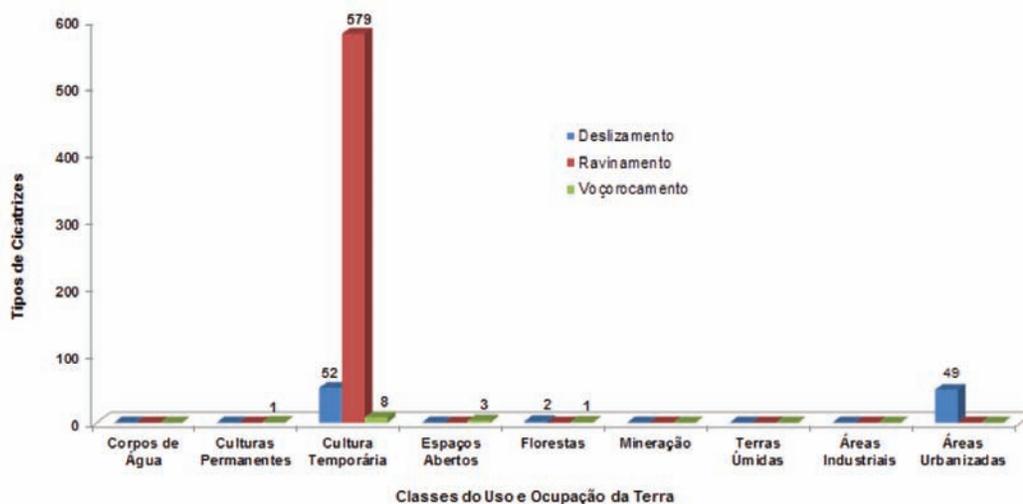


Fig. 8 – Distribuição dos tipos de cicatrizes para as classes de Uso e Ocupação da Terra (GEGEP/UFPE, 2014).

As Áreas Industriais estão concentradas no extremo nordeste do município e ocupam 17km^2 , correspondentes 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 de Suape.

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

Os Corpos de Água, concentrados principalmente no litoral, representam 16km^2 (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 cicatriz (0,14%), incluem as áreas antrópicas agrícolas com cultivo diverso, como o de frutas que pode ser representado pelos coqueirais. Representam 17km^2 (3,33%) distribuídos 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^2 (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.

Os Espaços Abertos, com 3 cicatrizes (0,43%), representam 5 km² (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 Industrial de Suape.

As Florestas abrangem 67km² (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 cicatrizes (0,43%).

As áreas de Mineração representam apenas 1km² (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 73km² (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.

3.6 – Mapa de solos

Através da correlação com o mapa de cicatrizes, foi observado que a classe LA9, localizada no extremo oeste, apresenta o maior valor de frequência das cicatrizes com 37,99% de todo o município, enquanto as classes AM, HP1, LA8, PA3, PA6 e TR não apresentaram ocorrências (Fig. 9). Este fato pode ser justificado através da intervenção humana, como abertura de estradas e o manejo da terra na agricultura.

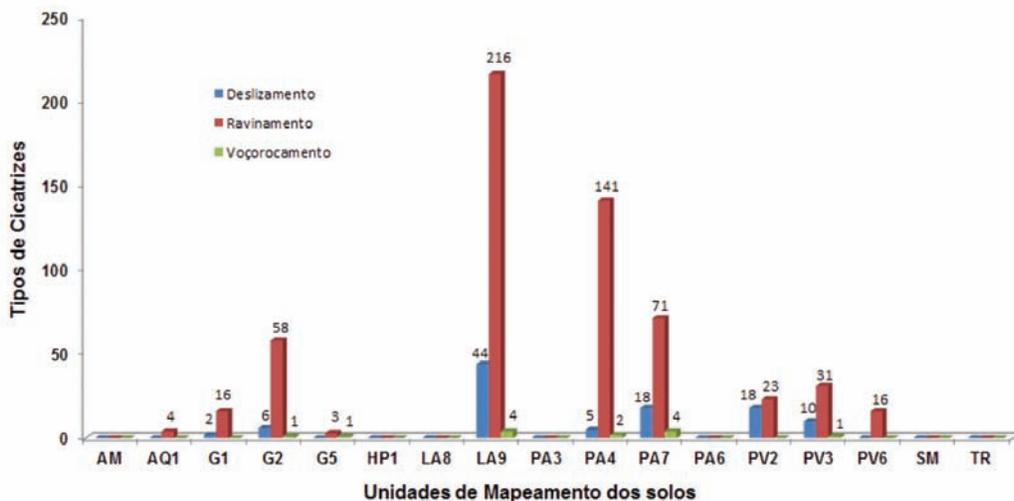


Fig. 9 – Distribuição dos tipos de cicatrizes para as unidades de mapeamento dos solos (GEGEP/UFPE, 2014).

A unidade de mapeamento LA9 contém a maior ocorrência de cicatrizes com 264 (37,99%), em função de a mesma apresentar uma área de 135,65km² (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 (Areias Quartzosas). 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.

3.7 – Matriz de correlação

Para o município de Ipojuca, houve a necessidade de montar duas matrizes de correlação para verificação dos pesos hierárquicos (Quadros 11 e 12), pois o município apresenta comportamento geológico, pedológico, de curvatura e de declividade distintos entre a Bacia Cabo e o Embasamento Cristalino.

Quadro 11 – Matriz de correlação do Embasamento Cristalino (GEGEP/UFPE, 2014).

Critérios	Uso	Geologia	Solos	Declividade	Curvatura
Uso	1	0,25	0,25	0,17	0,17
Geologia	4	1	1	0,17	0,17
Solos	4	1	1	0,17	0,17
Declividade	6	6	6	1	1
Curvatura	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.

Quadro 12 – Matriz de correlação da Bacia Cabo (GEGEP/UFPE, 2014).

Critérios	Uso	Geologia	Solos	Declividade	Curvatura
Uso	1	0,17	0,17	0,17	0,17
Geologia	6	1	1	0,25	0,25
Solos	6	1	1	0,25	0,25
Declividade	6	4	4	1	1
Curvatura	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 influência significativa, com relação aos critérios da Geologia e do Solo. Entretanto, elas foram ponderadas com mesma importância (1) quando correlacionadas entre si.

Desta forma, foi elaborada a matriz de normalização (Quadros 13 e 14) 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.

Quadro 13 – Matriz de Normalização para o Embasamento Cristalino (GEGEP/UFPE, 2014).

Crítérios	Uso	Geologia	Solos	Declividade	Curvatura	PESO
Uso	0,05	0,02	0,02	0,07	0,07	0,04
Geologia	0,19	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09
Solos	0,19	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09
Declividade	0,29	0,42	0,42	0,40	0,40	0,39
Curvatura	0,29	0,42	0,42	0,40	0,40	0,39

Quadro 14 – Matriz de Normalização para a Bacia Cabo (GEGEP/UFPE, 2014).

Crítérios	Uso	Geologia	Solos	Declividade	Curvatura	PESO
Uso	0,04	0,02	0,02	0,06	0,06	0,04
Geologia	0,24	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12
Solos	0,24	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12
Declividade	0,24	0,39	0,39	0,38	0,38	0,36
Curvatura	0,24	0,39	0,39	0,38	0,38	0,36

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.

3.8 – 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 (Fig. 10) pode então ser realizada para a confecção do mapa final através do mosaico dos mesmos (Embasamento Cristalino e Bacia Sedimentar do Cabo).

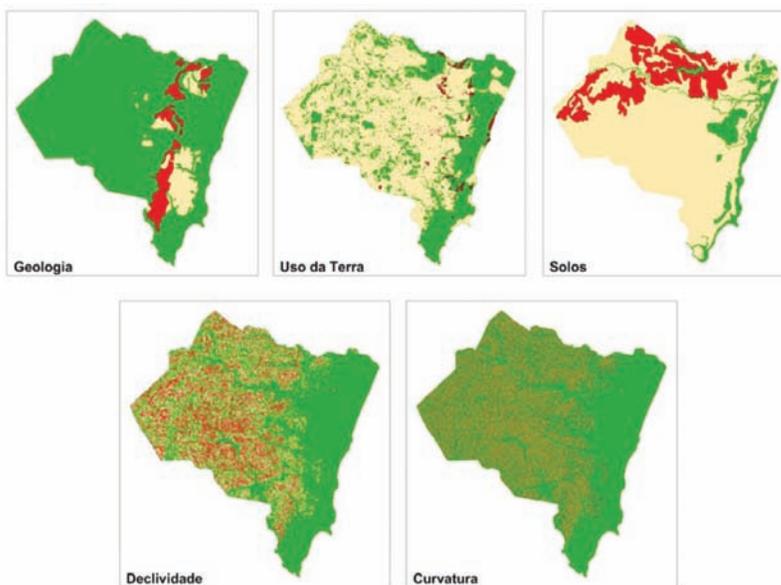


Fig. 10 – Mapas temáticos utilizados na álgebra (GEGEP/UFPE, 2014).

Embasamento Cristalino:

$$\text{Suscetibilidade} = 0,04 * \text{uso} + 0,09 * \text{geologia} + 0,09 * \text{solos} + 0,39 * \text{declividade} + 0,39 * \text{curvatura} \quad (3)$$

Bacia Sedimentar do Cabo:

$$\text{Suscetibilidade} = 0,04 * \text{uso} + 0,12 * \text{geologia} + 0,12 * \text{solos} + 0,36 * \text{declividade} + 0,36 * \text{curvatura} \quad (4)$$

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 (Quadro 15).

Posteriormente, foi observado que nos topos planos das encostas não foram incluídas as áreas com potencial de deslizamento próximo as encostas (Fig. 11A). 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 (Fig. 11B). 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.

A partir dos dados obtidos no Quadro 15, foi possível a confecção da Carta de Suscetibilidade do Município de Ipojuca (Fig. 12).

Quadro 15 – Características utilizadas na classificação do Grau de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão (GEGEP/UFPE, 2014).

Grau*		Características
3	Alto	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.
2	Médio	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 mediantemente favoráveis ao desencadeamento de MGM. Encostas convexa-convergente, côncava-divergente e convexa-divergente.
1	Baixo	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.

*Grau de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão.

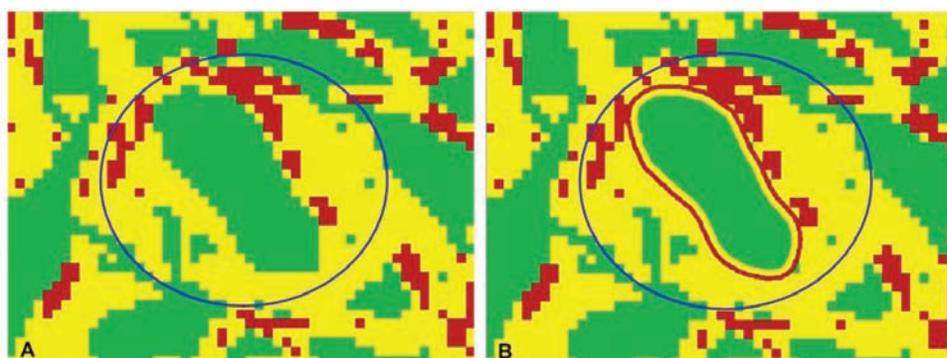


Fig. 11 – Buffer inserido nos topos das colinas (GEGEP/UFPE, 2014).

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 influência maior com relação aos valores dos mapas de 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.

As áreas que apresentaram maior concentração dos pontos com alta suscetibilidade estão localizadas ao sul, próximo a praia de Porto de Galinhas e ao norte, próximo ao Complexo Industrial de Suape, onde estão localizadas as Formações Cabo e Algodoads, litologias constituídas por conglomerados de seixos e blocos do embasamento e de seixos vulcânicos, respectivamente.

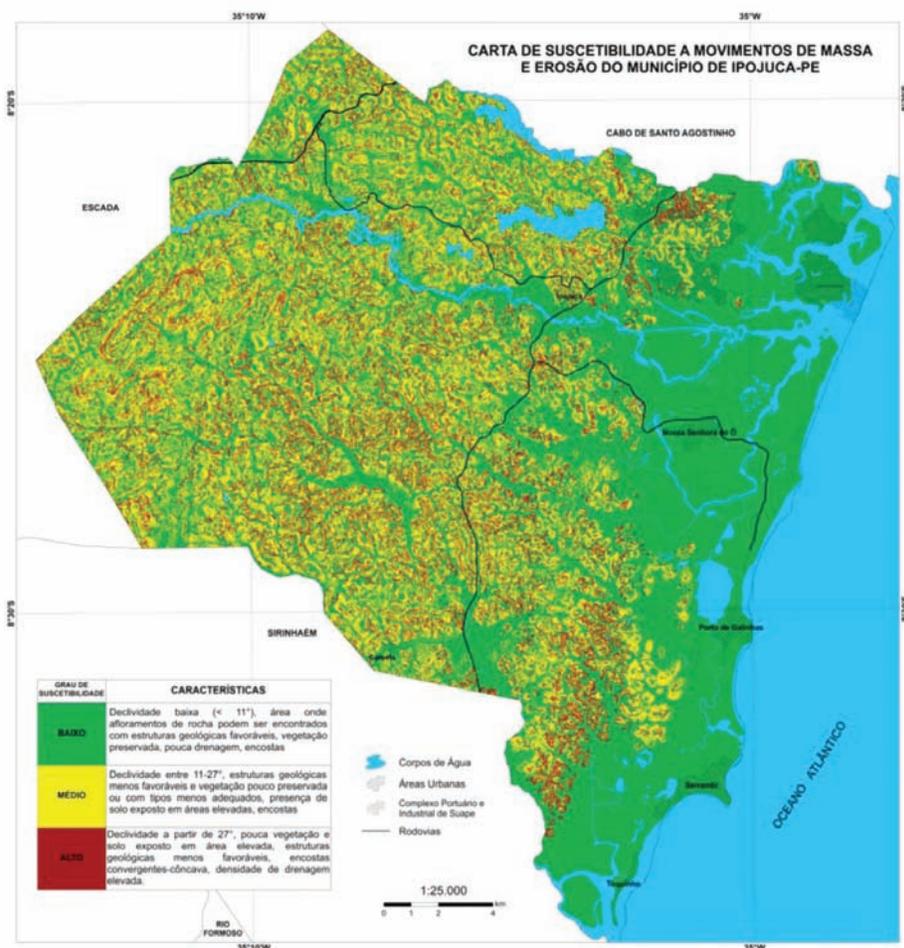


Fig. 12 – Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipouja-PE (GEGEP/UFPE, 2014).

Observando os dados obtidos no Quadro 16 e a Fig. 13, 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.

Quadro 16 – Percentual de cicatrizes para cada grau de suscetibilidade (GEGEP/UFPE, 2014).

Grau de suscetibilidade	Área (km²)	Quantidade de cicatrizes				
		*Desl	*Rav	*Voç	Total	(%)
Alto	59	55	346	11	412	59,28
Médio	148	44	196	1	241	34,68
Baixo	284	4	37	1	42	6,04

*Desl – Deslizamento; *Rav – Ravinamento; *Voç - Voçorocamento.

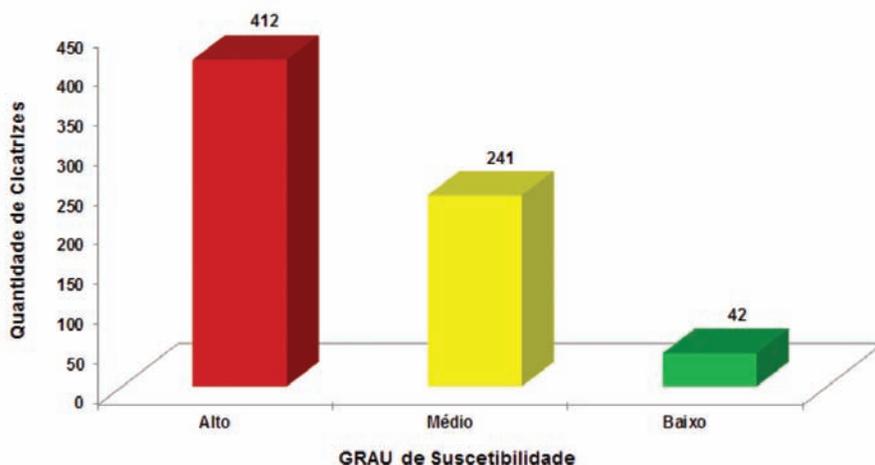


Fig. 13 – Correlação entre os graus de suscetibilidade e a frequência das cicatrizes (GEGEP/UFPE, 2014).

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 (Fig. 1) com a Carta de Suscetibilidade (Fig. 12), o que valida os resultados obtidos.

4 – 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 527,3km², o município de Ipojuca apresenta 284km² (56%) com áreas de suscetibilidade baixa, 148km² (31%) com suscetibilidade média e 59km² (13%) com suscetibilidade alta.

Os pontos que apresentaram maior concentração de áreas com alta suscetibilidade estão localizados 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.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, E.P. (2006). *Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial INPE, São José dos Campos-SP. 88f.
- Coutinho, R.Q. (Coord./Org.) (2013). *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.
- Coutinho, R.Q. (Coord./Org.) (2014). *Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização no município de Ipojuca, localizado na RMR, Estado de Pernambuco*. Convênio Ministério das Cidades. Recife: GEGEP/UFPE.
- Dikau, R. (1990). *Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods*. Zeitschrift für Geomorphologie, v.2, n. 80, pp. 45-55.
- GEGEP/UFPE (2014). *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.).
- IBGE (2013). *Manual Técnico de Uso da Terra*. Manuais Técnicos em Geociências N° 7, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 171p.
- Saaty, T.L. (2008). *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. - RACSAM, v.102, n. 2, pp. 251–318.
- ZAPE (2001). *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). CD-Rom. (Embrapa Solos. Documento n°. 35).