

# **ANÁLISE DE RISCO DE ESCORREGAMENTO NA CIDADE DE ARACAJU-SE – BRASIL**

## **LANDSLIDE RISK ANALYSIS IN THE ARACAJU CITY-SE-BRAZIL**

Santos Neta, Belaniza G.; *Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, belanizagaspar@hotmail.com*

Freitas Neto, Osvaldo; *Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, osvaldocivil@yahoo.com.br*

Cavalcante, E. H; *Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, erinaldo.cavalcante@ufcg.edu.br*

### **RESUMO**

A importância da gestão de risco deve-se principalmente às consequências, muitas vezes catastróficas, dos eventos naturais, que vão desde perdas socioeconômicas até perdas de vidas. O objetivo deste trabalho é auxiliar as entidades responsáveis pela gestão de risco do município de Aracaju, no que se refere a risco de escorregamentos em encostas urbanas. A análise de risco dos setores de encosta estudados foi realizada com o auxílio da metodologia qualitativa de Gusmão Filho et al. (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final em cada setor. Foram analisados 16 setores, dentre eles, apenas 6% dos setores apresentaram grau de risco baixo, enquanto aproximadamente 44% apresentaram grau de risco médio, grau de risco alto e muito alto corresponderam a 25%, cada um. A verificação de que metade das encostas avaliadas apresentaram grau de risco alto e muito alto significa o reconhecimento da necessidade de monitoramento e a implantação de ações preventivas nessas áreas.

### **ABSTRACT**

The importance of risk management is due mainly the consequences, often catastrophic, of natural events, ranging from socio-economic losses to loss of life. The aim of this paper is to assist the responsible organs for risk management in the Aracaju city, as regards the risk of landslides in urban slopes. Risk analysis of the studied slope sectors carried out through of qualitative methodology Gusmão Filho et al. (1992) and has been considered the proposal of Alheiros (1998) to calculate the final risk level in each sector. Sixteen sectors have been analyzed, among them, only 6% of the sectors showed low level of risk, while about 44% showed medium level of risk, high and very high risk accounted for 25%, each. The verification that half of the assessed slopes presented a high degree of risk and very high means the recognition of the need for monitoring and the implementation of preventive actions in these areas.

### **1 - INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional, principalmente em áreas urbanas, leva à ocupação de locais naturalmente sujeitos a movimentos de massa. Essa ocupação, muitas vezes feita de forma irregular, leva a aceleração desses movimentos, que a depender da sua magnitude, pode levar a situações de perigo para a vida e propriedades da população.

Nos grandes centros urbanos, frequentemente, esses deslizamentos assumem proporções catastróficas, uma vez que os inúmeros cortes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos, condições de drenagem, e outras agressões, geram novas relações com os fatores condicionantes associados a geomorfologia (Montgomery & Greenberg, 2001). Daí a importância de realizar uma análise de risco de escorregamento mais completa do que apenas a análise de estabilidade de encostas. Para isso, é importante o conhecimento das propriedades mecânicas do solo, distribuição granulométrica dos materiais do subsolo, entre outros aspectos.

Bandeira (2003) cita que diferentes processos que se enquadram na dinâmica externa são denominados como risco geológico, dentre eles, o enfoque deste trabalho, os escorregamentos. Segundo o mencionado autor, alguns trabalhos da literatura técnica, utilizam para esses mesmos processos o termo risco geomorfológico. Quando os processos são relacionados à dinâmica interna da terra, são classificados como risco geofísico. Já o termo risco geotécnico, é associado a perigos que envolvem obras de engenharia e também compreende uma variação do termo risco geológico ou geomorfológico. Neste artigo adotou-se o termo risco geológico-geotécnico, visto que se trata de processos de escorregamento de encostas naturais e taludes de corte.

A análise de risco de natureza geológica, consiste na observação de possíveis condicionantes da

instabilização de encostas. Nesse aspecto, Cerri et al. (1990) determina que só haverá risco geológico quando for possível prever consequências sociais e econômicas que estejam ligadas diretamente a um processo geológico. O mapeamento de risco é uma importante ferramenta no acompanhamento de áreas sujeitas a desastres naturais.

O mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhamento: o zoneamento de risco e o cadastramento de risco. O zoneamento de risco é caracterizado pela delimitação de setores nos quais existem diversas moradias, cada setor recebe um mesmo grau de risco ainda que existam moradias pertencentes ao setor que não possuam o mesmo grau de risco atribuído ao setor ou até mesmo moradias que não apresentem risco. O cadastramento de risco de escorregamento em encostas é mais detalhado e os riscos são atribuídos por moradia. A análise de risco pode ser iniciada através do zoneamento de risco com a finalidade de indicar as áreas prioritárias onde deverá ser executado o cadastramento de risco (Cerri, 1993 apud Cerri et al., 2007).

Com o intuito de auxiliar as entidades públicas responsáveis pela gestão de risco da cidade de Aracaju, bem como identificar a possível evolução dos movimentos ocorridos anteriormente, este trabalho apresenta a análise e o zoneamento de risco de deslizamento, realizado através da metodologia qualitativa de Gusmão Filho *et al.* (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998). A cidade de Aracaju possui uma grande zona de expansão, e o zoneamento de risco também tem a finalidade de auxiliar a ocupação dessas áreas, de modo a evitar futuros transtornos para as comunidades que estão ocupando essas localidades. Para isso, faz-se necessário o constante acompanhamento por parte das entidades fiscalizadoras.

## 2 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

### 2.1 - Localização

A área de estudo compreende o município de Aracaju, capital do estado de Sergipe localizado na região nordeste do Brasil (Figura 1). De acordo com a Lei nº 554 de 6 de fevereiro de 1954 a cidade limita-se ao norte pelos municípios de Nossa Senhora do Socorro e Santo Amaro das Brotas, ao sul pelo município de Itaporanga d'Ajuda, a leste pelo município de Barra dos Coqueiros e o oceano Atlântico e, a oeste pelo município de São Cristóvão. A cidade possui uma área territorial de 181,856 km<sup>2</sup>, de acordo com o censo do IBGE do ano de 2010 a população aracajuana corresponde a 571.149 habitantes e a densidade demográfica é de 3.140,67 hab/km<sup>2</sup>.

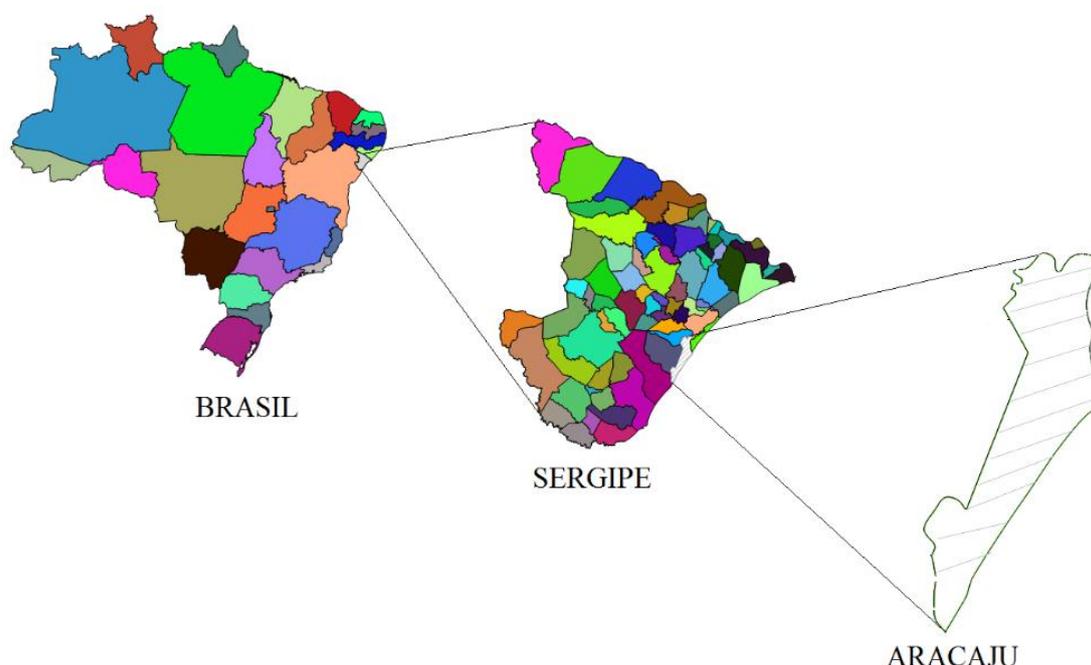


Figura 1 - Localização da Área de Estudo (Sergipe, 2014).

### 2.2 - Características da Área de Estudo

O município de Aracaju apresenta um clima sub-úmido com precipitação média anual de 1.590 mm, a temperatura média anual é de 26°C e o período chuvoso ocorre entre os meses de março e agosto. Araújo (2006) cita que a cidade apresenta de um a três meses secos, entre dezembro e fevereiro. Um aspecto importante relacionado a pluviosidade são os escorregamentos e inundações, eventos associados aos

episódios de chuvas concentradas.

A vegetação compreende Mata secundária (Mata Atlântica), Manguezal e Restinga. O alto grau de devastação de cobertura vegetal na cidade, deve-se ao processo de ocupação da cidade desde a sua origem, sendo a área do Morro do Urubu o maior remanescente de Mata Atlântica da cidade, considerada uma APA (Área de Preservação Ambiental). A vegetação de Restinga ainda é encontrada na zona oeste, na zona norte e na zona de expansão de Aracaju. Os manguezais são ecossistemas aquáticos de grande importância ecológica e estão localizados ao longo das margens dos canais fluviais que drenam a malha urbana do município (Araújo, 2006). A hidrografia de Aracaju é constituída pelo Rio Sergipe, Rio Vaza-Barris, Rio Poxim, Rio Pitanga e Canal Santa Maria (Sergipe, 2015).

A cidade de Aracaju está localizada numa região coberta por Formações Superficiais, representadas por duas unidades de relevo, a Planície Costeira e os Tabuleiros Costeiros caracterizados pelo desenvolvimento de morros elaborados sobre litologias do Grupo Barreiras (Araújo, 2006). Fontes (2003) reitera essa análise, afirmando que a implantação da cidade de Aracaju foi concretizada graças à ação antrópica, o que interviu na sua geomorfologia, havendo desmontes de dunas e aterros de mangues com sedimentos do grupo Barreiras, dando origem a um verdadeiro solo criado.

Araújo (2006) afirma que nos Tabuleiros Costeiros foram desenvolvidos os morros e colinas, com predomínio na zona norte, resultando nas formas arredondadas mais elevadas da cidade, alcançando aproximadamente 100m (ponto de maior cota altimétrica no Morro do Urubu). Os Tabuleiros Costeiros desenvolvem-se também nos bairros América, Jabotiana, Santa Maria, onde ocorrem afloramentos do Grupo Barreiras, com altitudes mais elevadas. Além dessas áreas com maior incidência, os Tabuleiros Costeiros ocorrem nos bairros Getúlio Vargas, Cirurgia e Suíssa, com altitudes máximas de 38m. Em outras regiões da cidade os valores altimétricos são baixos, com cotas mínimas de até 2m.

### **3 - METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO**

A gestão de risco compreende desde a avaliação do risco, que por sua vez abrange a análise do risco (cálculo do grau de risco) e a apreciação (comparação do risco levando-se em consideração critérios de aceitabilidade), a definição se o risco é aceitável, ou não, leva ao controle do risco (divulgação e mitigação).

A análise de risco identifica a natureza do risco, a probabilidade de ocorrência e as perdas associadas a ele. Cerri et al. (2007) afirma que, em geral, a análise de risco geológico é realizada através de investigações geológico-geotécnicas de superfície executadas na área de interesse. A etapa posterior a análise de risco é a avaliação das opções, a partir das informações adquiridas na análise é possível optar pela solução mais viável, dentre as opções mais comuns estão, a aceitação, a intervenção e a ação emergencial (Alheiros, 1998).

A aceitação ocorre quando o risco é considerado aceitável, não envolvendo perdas de vidas ou socioeconômicas, também ocorre quando a região é pouco povoada e não compensa, economicamente, a estabilização da encosta através de obras de engenharia. A intervenção é recomendada para regiões com densidade populacional considerável e quando o desastre natural ainda não ocorreu, trata-se de uma medida preventiva. Já a ação emergencial, ocorre quando o desastre já ocorreu, visa atender as necessidades da comunidade afetada e diminuir o quanto possível o impacto social, econômico e ambiental.

A análise empregada na elaboração de mapas de risco pode ser qualitativa ou quantitativa. A análise qualitativa utiliza a forma de textos (baixo, mediano, alto, ...) ou escalas numéricas (1, 2, 3, 4, ...) para quantificar o risco. Já a análise quantitativa compreende valores numéricos da vulnerabilidade, probabilidade e consequências, dessa forma, o risco é dado em forma de valor numérico (Fell et al., 2008). A análise qualitativa pode funcionar, também, como uma análise preliminar, indicando as áreas que possuem maior predisposição a eventos naturais e, portanto, as áreas que justificariam o emprego da análise quantitativa.

A metodologia de Gusmão Filho et al. (1992) é denominada de caráter qualitativo, na qual são considerados os fatores que influenciam a estabilidade de setores individualizados de encostas, por sua vez, esses fatores são subdivididos em grupos de atributos. Em campo são observadas as características das áreas estudadas, posteriormente é elaborada uma ficha de avaliação de risco onde são considerados os fatores topográfico, geológico e ambiental, com seus respectivos atributos.

Coletadas as informações necessárias em campo, são atribuídos valores qualitativos de grau de risco para cada atributo. Determinados os graus de risco de cada atributo, calcula-se o grau de risco de cada fator através da média aritmética dos seus atributos, a seguir, calcula-se o grau de risco final de cada setor de encosta através da média aritmética ou ponderada dos valores obtidos para cada fator (Equação 1). A escolha da média aritmética ou ponderada no cálculo do grau de risco final depende dos pesos atribuídos

aos fatores.

$$RF = \left[ \frac{(P_1RT) + (P_2RG) + (P_3RA)}{P_1 + P_2 + P_3} \right] \quad [1]$$

Na equação 1, RF representa o grau de risco final de cada setor, enquanto RT, RG e RA correspondem ao grau de risco topográfico, geológico e ambiental, respectivamente.  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  são os pesos atribuídos aos graus de risco topográfico, geológico e ambiental, respectivamente.

No trabalho realizado por Alheiros (1998), foram atribuídos peso 1 para a geologia, peso 2 para a topografia e peso 3 para o ambiente com a intenção de destacar a importância dos fatores de risco como causadores de movimentos de massa. No trabalho de Alheiros (1998), o conhecimento dos graus de risco de cada setor permitiu a distribuição de cinco faixas correspondentes aos valores de 1 a 5, sendo que cada um desses valores está associado a um termo linguístico.

O trabalho de Alheiros (1998) propõe também a inclusão do tratamento como um fator redutor do risco ambiental, onde essa redução é proporcional a "nota" do tratamento. Assim, em um setor de encosta o grau de risco conferido a cada atributo pertencente ao fator ambiental tem seu valor reduzido de acordo com o valor do tratamento (Equação 2), exceto a densidade populacional, visto que é inelástica, portanto, independe do tratamento. Por sua vez, o grau de risco do fator ambiental é calculado conforme os demais, ou seja, através da média aritmética dos atributos incluindo o tratamento (vegetação, drenagem e cortes) e a densidade populacional.

$$RA_t = RA_i - \left[ \left( \frac{RA_i - 1}{4} \right) \cdot (5 - T) \right] \quad [2]$$

Na equação anterior,  $RA_t$  é o grau de risco para cada atributo ambiental, incluindo o tratamento, enquanto  $RA_i$  é o grau de risco para cada atributo ambiental sem tratamento e T é a nota do tratamento.

#### 4 - ANÁLISE DE RISCO EM ARACAJU

A análise de risco no município de Aracaju utilizou-se da metodologia qualitativa de Gusmão Filho et al. (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final de cada setor de encosta.

Inicialmente estabeleceu-se o contato com a Defesa Civil Municipal de Aracaju, órgão responsável pelo monitoramento do risco local. Dentre as informações concedidas pela referida entidade consta um levantamento das áreas de risco referentes a enchentes e a movimentos gravitacionais de massa realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (Brasil, 2013), no qual delimitou-se 15 áreas expostas a risco de deslizamento. Com base nesse levantamento, foram escolhidos 16 setores de encosta com características mais representativas, para a análise de risco de escorregamento de massa apresentada neste trabalho. A setorização das áreas foi feita considerando-se a homogeneidade de características visuais, ou seja, ainda que existam setores muito próximos, se eles apresentam características como cobertura vegetal, textura do solo e tratamento muito diferentes, esses são considerados setores distintos.

Com base nas visitas realizadas, para verificar as características de cada encosta e no trabalho de Alheiros (1998), foi elaborada uma ficha de avaliação de campo que leva em consideração as características da cidade de Aracaju. Essa ficha contempla os parâmetros físicos e ambientais, representados pelos fatores de risco (topográfico, geológico e ambiental) e seus respectivos atributos que afetam a estabilidade das encostas (Quadro 1). O atributo saneamento, foi acrescentado de acordo com a adaptação de Moura et al. (2006) e corresponde a existência ou não de tratamento de esgoto.

Quadro 1- Fatores de Risco e Grupos de Atributos

Topográfico	Geológico	Ambiental
		Vegetação
Altura da encosta	Litologia	Drenagem
Extensão da encosta	Estrutura	Cortes
Declividade da encosta	Textura	Densidade populacional
Morfologia (Perfil)	Movimento e transporte de massa	Saneamento
Morfologia (Planta)		Tratamento

O fator de risco topográfico depende dos atributos altura, extensão e declividade da encosta e da morfologia em perfil e em planta. As morfologias, tanto em planta quanto em perfil, foram verificadas nas visitas às encostas. Os valores do atributo extensão da encosta, foram conhecidos através de imagens de satélite do Google Earth do ano de 2014.

A altura e a declividade das encostas foram conhecidas utilizando-se o método relativo de levantamento geodésico, em que um aparelho GPS com precisão topográfica, da marca Ashtech, modelo Promark 100, foi utilizado na ocupação dos pontos desejados, ou seja, um ponto na base e um na crista de cada encosta, visando o conhecimento das coordenadas horizontais e verticais.

O conjunto de atributos referente ao fator de risco geológico é constituído pelas características dos solos das encostas, são elas: litologia, estrutura, textura e movimento e transporte de massa. A litologia foi definida com o auxílio do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (Sergipe, 2014) e do trabalho de Araújo (2006). A estrutura característica dos solos das encostas é correspondente aos sedimentos do Grupo Barreiras, que segundo Gusmão Filho et al. (1982), são estratificados quase horizontalmente, essa condição foi claramente observada nas encostas estudadas. A textura foi definida através da análise tátil-visual realizada nas visitas de campo, a identificação de processos de movimento e transporte de massa também foi realizada nas visitas às áreas de encostas.

Os atributos do fator ambiental foram: vegetação, drenagem, cortes, densidade populacional, saneamento e tratamento. Apenas a densidade populacional não foi definida em campo, neste trabalho foram considerados dados obtidos através do SIUG (Sistema de Informações Urbanísticas Georreferenciadas) na página da internet da SEPLOG (Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão) de Aracaju, onde estão disponíveis as informações mais atualizadas referentes a demografia dos bairros da cidade.

Diante das observações em campo e da tabulação dos dados, foram estabelecidas quatro faixas de grau de risco (Quadro 2): R1 (Risco Baixo); R2 (Risco Médio); R3 (Risco Alto); e R4 (Risco Muito Alto), para cada atributo considerado.

Quadro 2 – Termos Correspondentes a Cada Grau de Risco

Grau de Risco	Termo Correspondente
1	Baixo
2	Médio
3	Alto
4	Muito Alto

Para avaliar o grau de risco dos atributos associando-os aos quatro números, observou-se os valores extremos (X1 e X2) obtidos nas encostas, e dividiu-se o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento "i". Assim, foi possível conhecer o intervalo correspondente a cada grau de risco e, conseqüentemente, a cada termo linguístico. Este procedimento foi realizado para todos os atributos numéricos, como: altura da encosta, extensão da encosta, declividade da encosta e densidade populacional.

O cálculo do grau de risco topográfico, geológico e ambiental foi feito pela média aritmética dos valores de grau de risco atribuídos aos seus respectivos atributos. Nas equações 3, 4 e 5 são apresentados os cálculos dos graus de risco topográfico, geológico e ambiental.

$$GRT = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad [3]$$

$$GRG = \frac{\sum \text{Atributos}}{4} \quad [4]$$

$$GRA = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad [5]$$

Neste trabalho foi considerada a proposta de Alheiros (1998) para o fator redutor do risco ambiental devido ao tratamento, considerando-se quatro faixas de grau de risco expresso aplicando a equação 6.

$$GRA_t = GRA_i - \left[ \left( \frac{GRA_i - 1}{3} \right) \cdot (4 - T) \right] \quad [6]$$

Na equação 6,  $GRA_t$  representa o grau de risco de um atributo ambiental incluindo o tratamento,  $GRA_i$  é o grau de risco de um atributo ambiental sem tratamento e T é a nota do tratamento.

O cálculo de grau de risco final, GRF, foi realizado através da proposta de Alheiros (1998), atribuindo-se peso 2 para o fator topográfico, peso 1 para o fator geológico e peso 3 para o fator ambiental, visto que esses dependem principalmente da ação antrópica, conforme a equação 7.

$$GRF = \left[ \frac{(2GRT) + (1GRG) + (3GRA_t)}{6} \right] \quad [7]$$

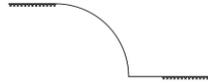
Onde o GRF na equação 7 corresponde ao grau de risco final, GRT é o grau de risco topográfico, GRG é o grau de risco geológico e  $GRA_t$  é o grau de risco ambiental incluindo a nota do tratamento.

As faixas equivalentes a cada termo linguístico dos graus de risco finais foram estabelecidas através da divisão linear do intervalo entre o menor e o maior grau de risco final em quatro faixas, conforme o quadro 2.

## 5 - RESULTADOS

O quadro 3 apresenta as faixas correspondentes a cada grau de risco dos atributos, bem como, os termos linguísticos para o município de Aracaju.

Quadro 3 – Faixas de Grau de Risco dos Atributos Correspondentes aos Fatores

Fatores	Grau de risco			
Topográfico	Baixo - 1	Médio - 2	Alto - 3	Muito alto - 4
Altura (m)	<10	10-14	14-18	>18
Extensão (m)	<159	159-302	303-445	>445
Declividade (%)	<91	91-135	136-180	>180
Morfologia (perfil)	Côncava 	Retilínea 	Cônc-conv 	Convexa 
Morfologia (planta)	Convexo 	Retilínea 	Sinuosa 	Côncava 
Geológico	Baixo - 1	Médio - 2	Alto - 3	Muito alto - 4
Litologia	Solo residual maduro	Grupo Barreiras	Unidades Quaternárias (Continentais)	Unidades Quaternárias (Marinhas)
Textura	Areno-argilosa	Areno-siltosa	Argilo-arenosa	Argilosa/Arenosa
Estrutura	Homogênea	Mergulho oposto	Sub-horizontal	Sub-vertical
Movimento e transporte de massa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausentes</li> <li>Ravinamento Superficial</li> </ul>	Cicatrizes	Erosão no pé da encosta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ravinamento Profundo</li> <li>Fendas</li> </ul>
Ambiental	Baixo - 1	Médio - 2	Alto - 3	Muito alto - 4
Vegetação (%)	>70	70-30	<30	Ausente
Drenagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensiva</li> <li>Parcial</li> </ul>	Insuficiente	Tópica	Inexistente
Cortes	Isolados	Em patamares	Desordenados (-)	Desordenados (+)
Densidade Populacional (hab/ha)	<44	44-70	71-98	>98
Saneamento	Saneada	Estação de tratamento	Fossa e sumidouro	Água servida escoando
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensivo</li> <li>Parcial</li> </ul>	Insuficiente	Tópico	Inexistente

As faixas de grau de risco final estabelecidas para o município de Aracaju são apresentadas no quadro 4.

Quadro 4 – Faixas de Grau de Risco Final de Aracaju-SE

Grau de Risco	Faixa de Valores
Risco Baixo	<2,14
Risco Médio	2,14-2,40
Risco Alto	2,41-2,67
Risco Muito Alto	>2,67

O quadro 5 mostra os graus de risco topográfico, geológico e ambiental das encostas, bem como os valores do grau de risco final para cada setor calculado através da equação 07. Observou-se que os resultados foram compatíveis com as características apresentadas em campo.

Quadro 5 – Grau de Risco por Encosta do Município de Aracaju

Setores de Encostas	Regiões	Grau de Risco Topográfico	Grau de Risco Geológico	Grau de Risco Ambiental	Grau de Risco Final Aracaju	Termo Linguístico
01	Sul	1,80	2,50	2,60	2,32	Risco Médio
02	Oeste	3,00	2,50	2,60	2,72	Risco Muito Alto
03		2,20	1,75	3,80	2,93	Risco Muito Alto
04		1,80	2,00	2,80	2,33	Risco Médio
05		1,80	2,50	3,00	2,52	Risco Alto
06		1,60	2,00	2,80	2,27	Risco Médio
07		1,00	2,00	3,40	2,37	Risco Médio
08		2,20	2,00	2,67	2,40	Risco Médio
09		1,80	3,00	3,40	2,80	Risco Muito Alto
10		2,00	1,75	2,80	2,36	Risco Médio
11		Norte	2,60	2,25	2,60	2,54
12	1,80		2,25	1,80	1,88	Risco Baixo
13	2,20		2,00	2,60	2,37	Risco Médio
14	2,40		2,00	3,00	2,63	Risco Alto
15	1,80		2,25	3,40	2,68	Risco Muito Alto
16	2,20		2,25	2,60	2,41	Risco Alto

### 5.1 - Setorização das Áreas de Risco de Aracaju

Os setores de risco baixo estão representados pela cor verde, os de risco médio pela cor amarela, os setores de risco alto na cor laranja e os de risco muito alto na cor vermelha. Para representar os setores, foram utilizadas imagens de satélite do Google do ano de 2016 no software QGIS® 2.0.1.

O setor 01 (Figura 2), considerado de risco médio, está situado no bairro Santa Maria, antigo bairro Terra Dura. Após passar por um período de obras de desmonte de alguns morros envolvendo o aeroporto da capital, foi escolhida uma área de talude artificial a qual está situada a poucos metros do fundo de várias residências. Na ocasião de fortes chuvas, as casas localizadas na base das encostas estão na zona de trajeto do material proveniente de escorregamentos.



Figura 2 – Zoneamento do setor 01 situado no bairro Santa Maria (Adaptado do Google, 2016).

As áreas analisadas na zona oeste de Aracaju, se localizam no bairro América, bairro Jabotiana e no bairro Suíssa. Entre esses, o bairro que apresenta a maior quantidade de setores é o bairro América, com 7 setores, enumerados de 03 a 09. Os registros existentes revelam que o bairro América é um dos que possuem maior histórico de deslizamentos, principalmente, na ocasião de alta pluviosidade.

No bairro Jabotiana (Setor 02), foi analisada uma área (Figura 3) que está localizada atrás de dois condomínios densamente habitados que apresentam sinais de rachaduras nos muros. Isso levou a adoção, por parte dos administradores desses condomínios, de um método paliativo de tentativa de contenção desse material, que é a escavação de uma vala entre a encosta e os condomínios.



Figura 3 – Zoneamento do setor 02 situado no bairro Jabotiana (Adaptado do Google, 2016).

O setor 03, além de muitos cortes desordenados, ocorre a deposição irregular de uma grande quantidade de lixo, o que gera sobrecarga para a encosta, perfazendo várias camadas de lixo, “aterradas” pelos sucessivos movimentos de massa, o que explica o risco muito alto desse setor. Os setores 04 e 05, apesar de muito próximos, possuem percentual de cobertura vegetal e tratamentos diferentes. Esses setores são caracterizados pela presença de paredes e muros “embarrigados”. Os setores 03 a 05 estão representados na figura 4.

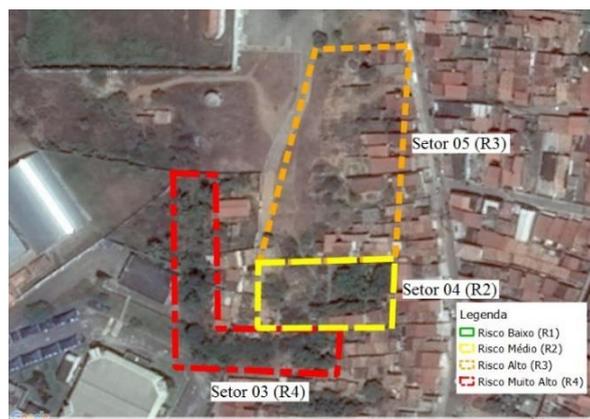


Figura 4 – Zoneamento dos setores 03 a 05 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

No setor 06 (Figura 5) localiza-se uma escola na parte superior, na qual um muro cedeu como sinal de intabilização dessas encostas. No setor 07 (Figura 5), segundo alguns moradores da localidade, já houve a interrupção da construção de moradias devido a insegurança da obra provocada pela negligência ao se tratar o terreno localizado na encosta. Os setores 08 e 09 (Figura 6) são caracterizados pelo alto carregamento de material na ocasião de fortes chuvas e por danos em residências.



Figura 5 – Zoneamento dos setores 06 a 07 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

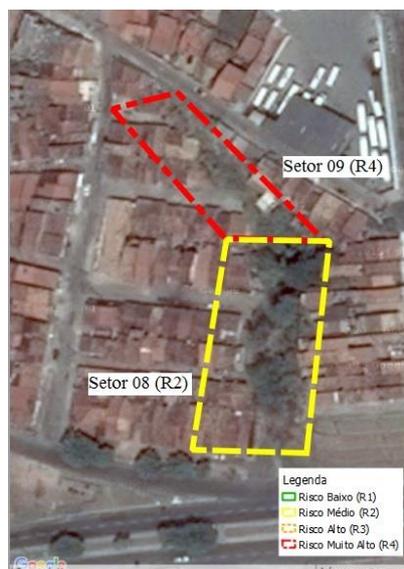


Figura 6 – Zoneamento dos setores 08 a 09 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

O setor localizado no bairro Suíssa (Setor 10) foi escolhido por estar situado em uma região com alto índice de relevo acidentado. O zoneamento dessa área está representado na figura 7.



Figura 7 – Zoneamento do setor 10 situado no bairro Suíssa (Adaptado do Google, 2016).

Na zona norte de Aracaju, os bairros analisados foram os bairros Industrial, Porto Dantas, Japãozinho e Cidade Nova. O bairro Industrial também figura dentre os que mais chamam atenção no monitoramento realizado pelos órgãos responsáveis. Além da ocupação desordenada, um dos motivos desse destaque é a alta densidade habitacional. Os setores 11 a 13 (Figura 8) compreendem as áreas estudadas no bairro Industrial.



Figura 8 – Zoneamento dos setores 11 a 13 situados no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).

O setor 11 apresenta um histórico de instabilidade devido a irregularidades na construção de residências, até mesmo de ocupação ilegal, gerando o comprometimento das estruturas das edificações. O setor 12 foi classificado como de risco baixo devido a menor altura e maior cobertura vegetal quando comparado ao setor 11 por exemplo, além disso, o emprego de estruturas de contenção, construídas pelos próprios moradores no fundo das edificações, na parte inferior das encostas reduz o risco, apesar disso, algumas residências assentes no topo das encostas apresentam sinais de movimentação no terreno, sendo visíveis rachaduras nas paredes, isso pode ocorrer devido ao avanço indiscriminado das residências chegando muito próximo às cristas das encostas. No setor 13, houve recentemente um deslizamento que provocou a interdição de três residências, sendo que em uma delas o material transportado invadiu a edificação.

Os setores 14 e 16 estão localizados em bairros vizinhos, respectivamente nos bairros Japãozinho e Porto Dantas. Esses bairros estão localizados nas proximidades do Morro do Urubu (Área de Preservação Ambiental – APA), o que incitou a escolha desses setores para análise. O setor 14 (Figura 9) compreende um condomínio que, segundo relatos de moradores, já sofreu danos na sua estrutura, com o desabamento de parte do muro e o comprometimento da estrutura do reservatório de água. O setor 16 (Figura 10) foi escolhido devido a um histórico de estabelecimento recorrente de moradias nas encostas e a retirada das mesmas pelos órgãos competentes.



Figura 9 – Zoneamento do setor 14 situado no bairro Japãozinho (Adaptado do Google, 2016).



Figura 10 – Zoneamento do setor 16 situado no bairro Porto Dantas (Adaptado do Google, 2016).

O setor 15 (Figura 11) está localizado no loteamento Moema Meire situado no bairro Cidade Nova e foi escolhido para análise por estar em uma região em expansão, ou seja, com a finalidade de auxiliar na orientação do estabelecimento dessas novas residências, optou-se por incluí-lo neste zoneamento.



Figura 11 – Zoneamento do setor 15 situado no bairro Cidade Nova (Adaptado do Google, 2016).

## 6 - CONCLUSÃO

Os resultados mostram que 50% dos setores de encosta estudados foram classificados com grau de risco alto e muito alto. A partir disso, é possível concluir que a análise qualitativa de risco utilizada, além de ser altamente viável para a utilização pelas entidades fiscalizadoras na avaliação do risco, é uma importante ferramenta para a análise preliminar, o que permite o reconhecimento e a hierarquização das áreas que justificariam a aplicação de metodologias relacionadas aos grandes avanços tecnológicos que foram inseridos às análises de risco recentemente.

## AGRADECIMENTOS

À Defesa Civil Municipal de Aracaju pelo apoio durante a pesquisa; aos professores Fernando Silva Albuquerque e Franciely Abati Miranda pelas orientações durante a execução do levantamento geodésico; à UFS pela oportunidade de desenvolvimento da pesquisa; à Agência Financiadora CAPES.

## REFERÊNCIAS

- Alheiros, M. M. (1998). *Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife*. 129 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Araújo, H. M. (2006). Elementos Componentes do Sistema Ambiental Físico de Aracaju. In: Araújo, H. M.; Vilar, J. W. C.; Wanderley, L. L.; Souza, R. M.. (Org.). *O Ambiente Urbano: visões geográficas de Aracaju*, São Cristóvão, UFS, p. 15-42.
- Bandeira, A. P. N. (2003). *Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupações Desordenadas no Município de Camaragibe –PE*. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Brasil (2013). Ministério de Minas e Energia. *Ação Emergencial para Delimitação da Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa*. Aracaju, CPRM. 18 p.
- Cerri, L. E. S. (1993). *Riscos Geológicos Associados a Escorregamentos: Uma Proposta para a Prevenção de Acidentes*. 197 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Cerri, L. E. S., Nogueira, F. R., Carvalho, C. S., Macedo, E. S., Augusto Filho, O. (2007). Mapeamento de Risco em Assentamentos Precários no Município de São Paulo, *Revista Geociências*, São Paulo, Vol. 26, No. 2, pp. 143-150.
- Cerri, L.E.S., Macedo, E. S., Augusto Filho, O. (1990). Risco geológico: uma nova área de atuação da geologia de engenharia no Brasil. *6º Congresso Brasileiro de Geologia De Engenharia*. Salvador, Vol.1, pp. 319-325.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z. (2008). Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning, *Engineering Geology*, Vol. 102, pp. 85-98.
- Fontes, A. L. (2003). O Quaternário Costeiro e o Município de Aracaju (SE). *2º Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas*. Recife, Brasil.
- Gusmão Filho, J. A., Melo, L. V., Alheiros, M. M. (1992). *Relatório Temático sobre Encostas*. Plano Diretor de Jaboatão dos Guararapes. Recife.
- Gusmão Filho, J. A., Silva, J. M. J., Figueiredo, L. C., Costa, W. D., Amorim Junior, W. M. (1982). Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda. *7º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Olinda, Brasil, pp. 75-102.
- Montgomery, D. R., Greenberg, H. M. (2001). Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis, *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Vol. 2, No.1, pp. 51-71.
- Moura, D. S. S., Severo, R. N. F., Junior, O. F. S., Neto, O. F., Pereira, A. C., Borja, E. V., Araújo, M. F. D., Silva, A. E. (2006). Mapeamento de risco simplificado de deslizamento de encostas no município de Tibau do Sul – RN. *1º Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*. Natal, Brasil.
- Sergipe (2014). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. *Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe*.
- Sergipe (2015). Secretaria do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Perfil: Grande Aracaju e Aracaju*. Aracaju, Brasil. 11 p.