

Zoneamento Simplificado de Risco de Deslizamento em Encostas na Cidade de Aracaju-SE

Belaniza Gaspar Santos Neta

Universidade Federal de Sergipe/UFS, São Cristóvão, Brasil, belanizagaspar@hotmail.com

Osvaldo de Freitas Neto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN, Natal, Brasil, osvaldocivil@yahoo.com.br

Erinaldo Hilario Cavalcante

Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, 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, capital do estado de Sergipe, no que se refere ao risco de deslizamentos em encostas urbanas através do zoneamento de risco. 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 cerca de 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 aproximadamente 31 e 19%, respectivamente. A verificação de que metade dos setores de encosta avaliados apresentaram grau de risco alto e muito alto enaltece a necessidade de monitoramento e a implantação de ações preventivas nessas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Zoneamento de Risco, Deslizamento, Encostas Urbanas.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação irregular de áreas naturalmente sujeitas a deslizamentos é um dos efeitos do crescimento populacional desordenado. Quando deslizamentos ocorrem em grandes centros urbanos, possuem a tendência de assumir proporções catastróficas. Surge então, a importância do mapeamento de risco para gerir tais áreas e evitar danos a população.

A cidade de Aracaju, embora seja predominantemente plana, apresenta diversos locais de relevo acidentado que são caracterizados pela ocupação desordenada, com edificações precárias, nas quais cortes, aterros, desmatamentos e a ausência de saneamento básico são alguns dos fatores que contribuem

para a instabilização das encostas presentes nessas áreas.

A notação adotada pelo relatório da ONU (2004), define risco como a probabilidade de consequências perigosas ou perdas esperadas (mortes, feridos, propriedade, atividades econômicas interrompidas ou danos ambientais) como resultado das interações entre os perigos naturais ou induzidos pelo homem e as condições vulneráveis. Portanto, *Risk* (Risco) = *Hazards* (Perigos) x *Vulnerability* (Vulnerabilidade). O mapeamento de risco ocorre através da análise de risco geológico, que, segundo Cerri *et al.* (2007), em geral, é realizada através de investigações geológico-geotécnicas de superfície executadas na área de interesse.

Cerri *et al.* (2007), afirma que o mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhe: 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 mesmo ou até moradias que não apresentem risco. O cadastramento de risco de escorregamento em encostas é mais detalhado e os riscos são atribuídos por moradia.

Com o intuito de auxiliar as entidades públicas responsáveis pela gestão de risco da cidade de Aracaju, bem como identificar a possível evolução de movimentos ocorridos anteriormente, este trabalho apresenta o zoneamento de risco de deslizamento realizado através da metodologia qualitativa de Gusmão Filho *et al.* (1992), considerando-se a proposta de Alheiros (1998) para o cálculo do grau de risco final dos setores. O zoneamento de risco permite a hierarquização dos problemas e o suporte técnico para a relação com as comunidades afetadas.

2 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo compreende o município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, localizado na região nordeste do Brasil. 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 km². 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/km².

2.2 Caracterização 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. A vegetação compreende Mata secundária (Mata Atlântica), Manguezal e Restinga. Sua hidrografia é constituída pelo Rio Sergipe, Rio Vaza-Barris, Rio Poxim, Rio Pitanga e Canal Santa Maria (Sergipe, 2015).

O município de Aracaju está localizado 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.

3 METODOLOGIA

A análise de risco no município de Aracaju utilizou-se da metodologia 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. Ao levar-se em conta a densidade populacional, um dos representantes da vulnerabilidade, a metodologia de Gusmão Filho *et al.* (1992) caracteriza-se como uma análise de risco.

Inicialmente foi estabelecido 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 no ano de 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 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 que foram realizadas às áreas 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 (Tabela 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.

Tabela 1- Fatores de Risco e Grupos de Atributos

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

As morfologias foram verificadas nas visitas às encostas.

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.

O conjunto de atributos referente ao fator 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 (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 (Tabela 2): R1 (Risco Baixo); R2 (Risco Médio); R3 (Risco Alto); e R4 (Risco Muito Alto), para cada atributo considerado.

Tabela 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 seus valores extremos obtidos nas encostas, e dividiu-se o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento. Assim, foi possível conhecer o intervalo correspondente a cada grau de risco e, conseqüentemente, a cada termo linguístico, isso foi feito 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 de 1 a 3 são apresentados os cálculos dos graus de risco topográfico, geológico e ambiental.

$$GRT = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad (1)$$

$$GRG = \frac{\sum \text{Atributos}}{4} \quad (2)$$

$$GRA = \frac{\sum \text{Atributos}}{5} \quad (3)$$

Neste trabalho foi considerada a proposta de Alheiros (1998) para o fator redutor do risco ambiental devido ao tratamento, considerando-se quatro faixas de risco, expresso através da equação 4.

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

Na equação 4, 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 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 (Eq. 5).

$$GRF = \left[\frac{(2GRT) + (1GRG) + (3GRA_t)}{6} \right] \quad (5)$$

Na equação 5, o GRF 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 com o fator redutor devido ao tratamento.

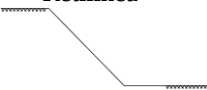
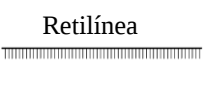
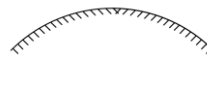
As faixas equivalentes a cada termo linguístico dos graus de risco finais foram estabelecidas através da divisão linear do intervalo entre o menor e o maior grau de risco final em quatro faixas, conforme a tabela 2.

4 RESULTADOS

As faixas correspondentes a cada grau de risco dos atributos, bem como os termos linguísticos para o município de Aracaju são apresentados na tabela 3.

As faixas de grau de risco final estabelecidas para o município de Aracaju estão apresentados na tabela 4.

Tabela 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	- Ausentes - Rav. Sup.	Cicatrizes	Erosão no Pé Da Encosta	- Rav. Profundo - Fendas
Ambiental	Baixo - 1	Médio - 2	Alto - 3	Muito Alto - 4
Vegetação	>70	70-30	<30	Ausente
Drenagem	- Extensiva - Parcial	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	- Extensivo - Parcial	Insuficiente	Tópico	Inexistente

Tabela 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

A tabela 5 mostra os graus de risco topográfico, geológico e ambiental das encostas. São apresentados também os valores do grau de risco final para cada setor calculado através da equação 5. Observou-se que os resultados foram compatíveis com as características apresentadas em campo.

Tabela 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	2,00	2,60	2,23	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	Risco Alto
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	1,50	3,40	2,55	Risco Alto
16		2,20	2,25	2,60	2,41	Risco Alto

4.1 Zoneamento de Risco das Áreas 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.

4.1.1. Setores de Risco Baixo

Apenas o setor 12 (Figura 1), localizado na rua Curitiba no bairro Industrial, foi classificado como de risco baixo de deslizamento.



Figura 1. Zoneamento do setor 12 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).

4.1.2. Setores de Risco Médio

Os setores 01, 04, 06, 07, 08, 10 e 13 (Figuras de 2 a 6) foram classificados como de risco médio.



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

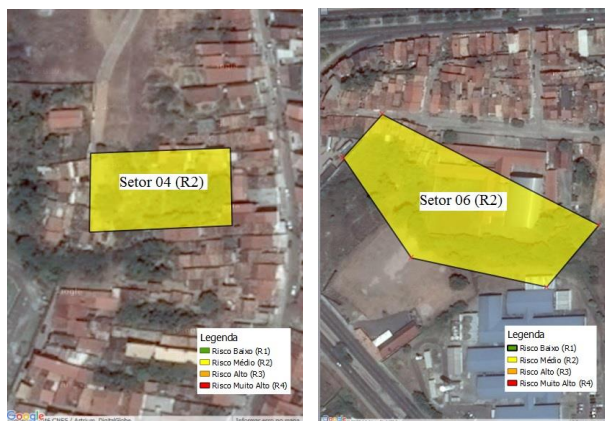


Figura 3. Zoneamento dos setores 04 e 06 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

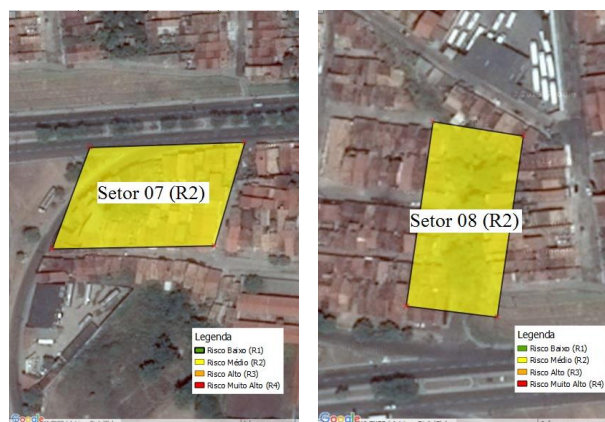


Figura 4. Zoneamento dos setores 07 e 08 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).



Figura 5. Zoneamento do setor 10 situado no bairro Suíça (Adaptado do Google, 2016).

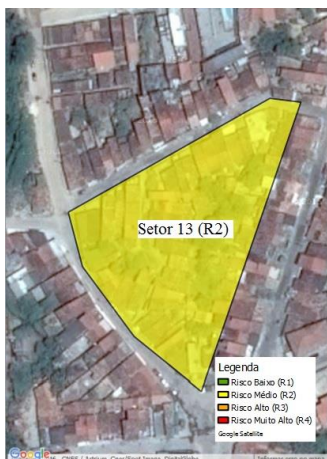


Figura 6. Zoneamento do setor 13 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).



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

4.1.3. Setores de Risco Alto

Os setores 05, 11, 14, 15 e 16 (Figuras de 7 a 11) apresentaram grau de risco alto.

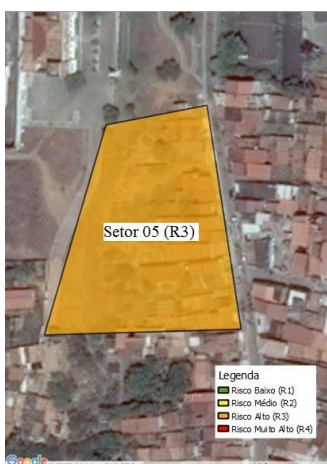


Figura 7. Zoneamento do setor 05 situado no bairro América (Adaptado do Google, 2016).



Figura 10. Zoneamento do setor 15 situado no bairro Cidade Nova (Adaptado do Google, 2016).

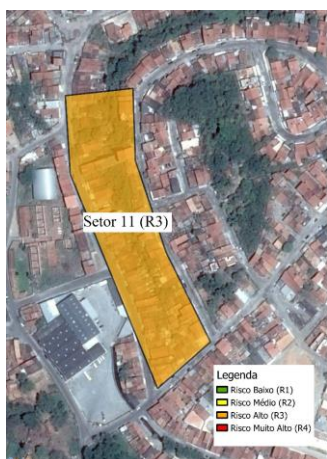


Figura 8. Zoneamento do setor 11 situado no bairro Industrial (Adaptado do Google, 2016).

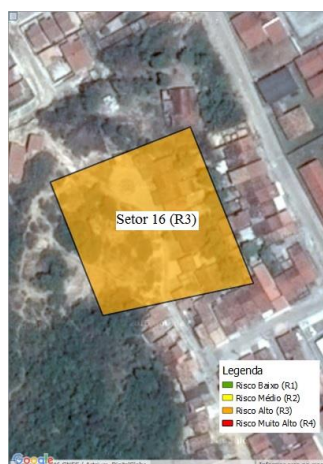


Figura 11. Zoneamento do setor 16 situado no bairro Porto Dantas (Adaptado do Google, 2016).

4.1.4. Setores de Risco Muito Alto

Os setores 02, 03 e 09 (Figuras 12 a 13) apresentam grau de risco muito alto.



Figura 12. Zoneamento do setor 02 situado no bairro Jabotiana (Adaptado do Google, 2016).

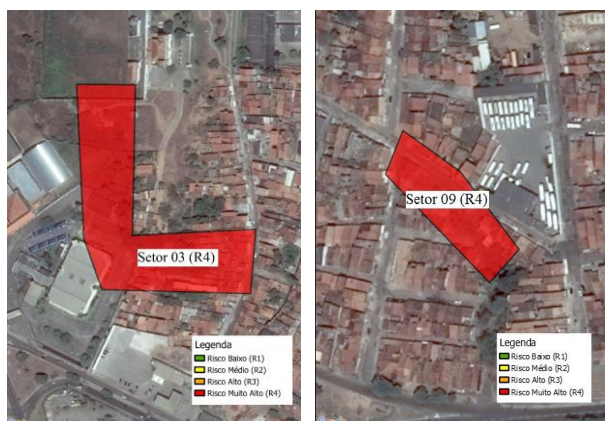


Figura 13. Zoneamento dos setores 03 e 09 situados no bairro América (Adaptado do Google, 2016).

5 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram 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 na avaliação do risco pelas entidades fiscalizadoras, é uma importante ferramenta para a análise preliminar, o que permite o reconhecimento e a hierarquização das áreas que justificariam a aplicação de metodologias mais sofisticadas associadas aos grandes avanços tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- Alheiros, Margareth Mascarenhas (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.
- 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. et al. (2007). Mapeamento de Risco em Assentamentos Precários no Município de São Paulo, *Revista Geociências*, São Paulo, Vol. 26, No. 2, pp. 143-150.
- 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. et al. (1982). Caracterização Geológico-Geotécnica dos Morros de Olinda. *7º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Olinda, Brasil, pp. 75-102.
- Gusmão Filho, J. A., Melo, L. V., Alheiros, M. M. (1992). *Relatório Temático sobre Encostas*. Plano Diretor de Jaboatão dos Guararapes. Recife.
- Moura, D. S. S. et al. (2006). *Mapeamento de risco simplificado de deslizamento de encostas no município de Tibau do Sul – RN*. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Natal.
- ONU. United Nations Inter Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNI/ISDR). *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. vol. I. Genebra, Suíça, 2004. 431 p.
- ONU. United Nations Inter Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNI/ISDR). *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. vol. II. Genebra, Suíça, 2004. 127 p.
- 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.