

# **USO DE LÓGICA FUZZY E PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO – AHP NO ZONEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTO UTILIZANDO O OPERADOR FUZZY MÉDIA PONDERADA AHP O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ANIL EM SÃO LUÍS – MA**

**Celso Henrique Leite Silva Junior**

Universidade CEUMA – UniCEUMA – Voluntário do Programa de Iniciação Científica do Curso de Engenharia Ambiental – Rua Josué Montello, 1, Renascença II, 65.075-120, São Luís – MA  
E-mail: celsohlsj@gmail.com

**Fabício Brito Silva**

Universidade CEUMA – UniCEUMA – Rua Josué Montello, 1, Renascença II, 65.075-120, São Luís – MA  
Professor Titular, Doutor em Sensoriamento Remoto – INPE  
E-mail: fabricioagro@gmail.com

**Dagolberto Calazans Araujo Pereira**

Universidade CEUMA – UniCEUMA – Professor Titular, Doutor em Saúde Pública – UFMG  
Rua Josué Montello, 1, Renascença II, 65.075-120, São Luís – MA  
E-mail: dagolberto@gmail.com

**Vera Lúcia Araújo Rodrigues Bezerra**

Universidade CEUMA – UniCEUMA – Professora Titular, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFC – Rua Josué Montello, 1, Renascença II, 65.075-120, São Luís – MA  
E-mail: vera.luarb@gmail.com

---

## **Resumo**

Em áreas urbanas, para a avaliação da suscetibilidade a deslizamento de terra é necessário o conhecimento sobre as condições que afetam a estabilidade dos taludes. O objetivo deste trabalho foi mapear a susceptibilidade a deslizamento na bacia do rio Anil na cidade de São Luís/MA no Brasil. Para isso, foi aplicada a metodologia de modelagem espacial baseada em Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico – AHP. Foi utilizado um conjunto de dados composto por mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, dados numéricos do terreno e forma do terreno. O mapa resultante deste estudo mostrou que as áreas com a susceptibilidade moderada correspondem à maior parte da área de estudo. Esse fenômeno é explicado devido à alta densidade populacional e supressão da cobertura vegetal.

**Palavras-chave:** Degradação do solo; crescimento urbano; modelagem espacial.

## **Abstract**

In urban areas, to evaluate landslide susceptibility requires knowledge about the conditions that affect the slope stability. The objective of this work was to map landslide susceptibility across Rio Anil watershed in São Luis city at Maranhão state of Brazil. For this, were applied a spatial modelling methodology based in Fuzzy logic and Analytical Hierarchy Process – AHP. Were used a dataset composed by thematic map of geology, geomorphology, soils, numerical data of slope and terrain shape. The map resultant of this study showed that area with moderate susceptibility corresponds to most of study area. This phenomenon is explained by the high population density and removal of vegetation.

**Keywords:** Land degradation; urban growth; spatial modelling.

---

## Introdução

No Brasil, o último censo populacional mostrou que 84% (160.925.804 de habitantes) da população brasileira vivem em áreas urbanas, já no Estado do Maranhão cerca de 63% (4.147.149 de habitantes) da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010).

O município de São Luís no ano de 2010 apresentava uma população total de 1.014.837 de habitantes, com cerca de 94,5% (958.522 de habitantes) da população vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2010). Em 2013 a população foi estimada pelo IBGE em 1.053.919 de habitantes tendo ainda sua grande maioria morando em áreas urbanas (BRASIL, 2013a).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Anil (BHRA), o cenário de aumento populacional é o mesmo. Essa bacia foi a primeira a ser ocupada no início da colonização da Ilha do Maranhão onde estão os municípios de São Luís, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e Raposa, ocorrido a partir da foz do Rio Anil (SOUZA, 2005). Bezerra (2008) estimou que no ano de 2000 a bacia apresentava uma população estimada de 300.000, já em 2010 a bacia apresentava uma população de 394.140 pessoas, com um crescimento aproximado de 31,38% em 10 anos (IBGE, 2010).

A concentração da população nos grandes centros urbanos não tem sido acompanhada de programas governamentais eficientes para o ordenamento do uso e ocupação do solo. Isso tem levado, principalmente, a população mais carente a ocupar áreas naturalmente inadequadas ou, suscetíveis a eventos naturais (PFALTZGRAFF, 2007).

Os desastres naturais tiveram um impacto significativo na sociedade brasileira. Em 2012 oficialmente foi relatada a ocorrência de 376 desastres naturais, os quais causaram 93 óbitos e afetaram cerca de 16.977.614 pessoas. Desse total, cerca de 26 óbitos foram causados por deslizamentos. De modo geral cerca de 123.555 pessoas foram afetadas diretamente. Dos desastres que causaram mortes à população brasileira, os deslizamentos corresponderam cerca de 27,96% dos óbitos (BRASIL, 2013b).

Os deslizamentos podem ser definidos como “o movimento da massa de rochas, colúvios ou terra (solo) que desliza em uma encosta” (FELL et al., 2008, p. 86). “Existem outros termos que são usados alternativamente ao termo “deslizamento”, que in-

cluem movimento de massa, ruptura do talude, etc.” (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008, p. 6).

Os deslizamentos podem ser considerados como processos naturais modeladores da paisagem, sendo mais frequentes em regiões montanhosas, podendo ser engatilhados por processos naturais tais como, tornados, chuvas intensas, sismos ou por atividades antrópicas (MUÑOZ, 2005). Esses fenômenos são considerados desastrosos quando afetam a vida, os bens materiais e o meio ambiente de uma sociedade. Nesse sentido, o mapeamento da suscetibilidade natural a deslizamentos é importante para a gestão da ocupação territorial para futuros assentamentos humanos ou no remanejamento de assentamentos em áreas onde há o comprometimento de vidas e/ou de bens materiais (MUÑOZ, 2005).

A BHRA atualmente apresenta áreas urbanas estabelecidas em lugares inadequados como em Áreas de Preservação Permanente (APP), áreas de instabilidade geológica e áreas suscetíveis a inundações entre outras.

O presente trabalho teve o objetivo de mapear as áreas de suscetibilidade natural a deslizamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Anil no município de São Luís do Maranhão utilizando a técnica do Processo Analítico Hierárquico – AHP e a Lógica Fuzzy.

## Materiais e métodos

### Área de estudo

A BHRA está situada no quadrante NW da Ilha do Maranhão no município de São Luís – MA, entre as coordenadas 2°29' S/44°12' O e 2°34' S/44°18' O. Possui a maior área urbanizada relativa da Ilha do Maranhão, possuindo uma área total aproximada de 41 km<sup>2</sup>, sendo a extensão do Rio Anil aproximadamente 13,8 km, das suas nascentes no bairro Aurora até a sua foz (Figura 2). Apresenta como limites, ao norte a Bacia Litorânea, ao Sul a Bacia do Rio Bacanga, ao Leste a Bacia do Rio Paciência e ao Oeste a Baía de São Marcos (ALCÂNTARA, 2004).

Na BHRA foram registrados nos últimos anos 19 pontos de ocorrência de deslizamentos pela Superintendência Municipal de Defesa Civil. As ocorrências são principalmente no período chuvoso que vai de janeiro a junho, com índice pluviométrico médio ficando em 2.000 mm/ano (ALCÂNTARA, 2004).

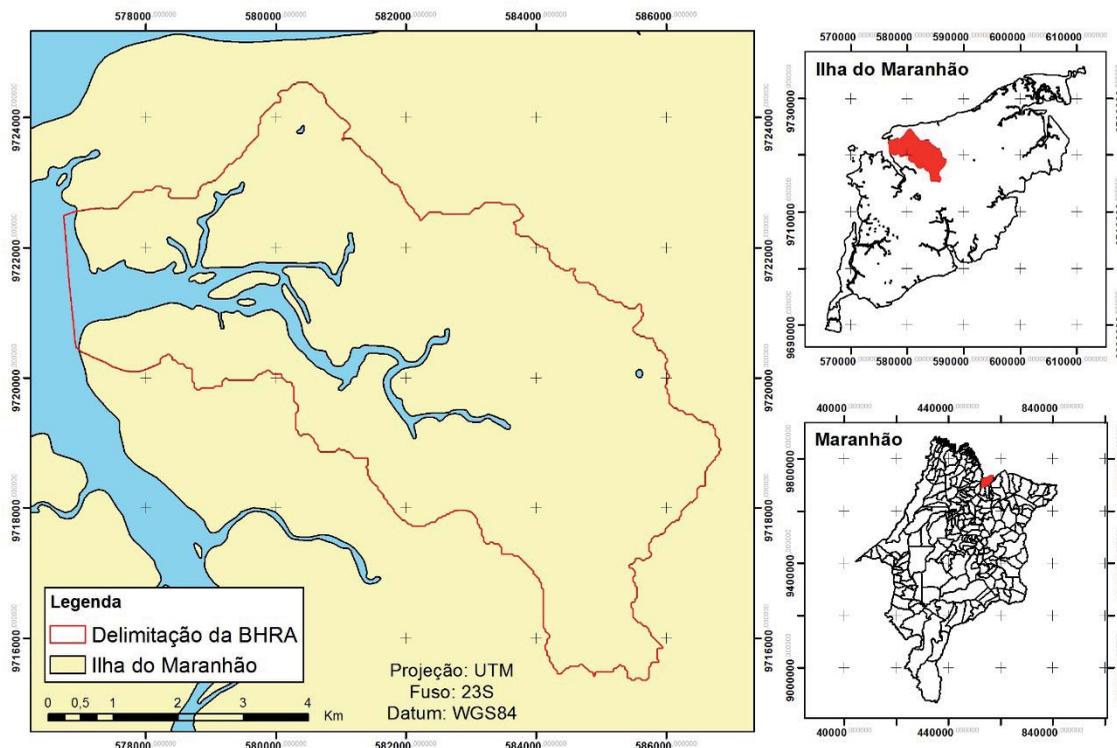


Figura 1 – Localização da BHR.

Fonte: Araújo et al. (2009).

## Modelagem espacial

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos consistiram da coleta de dados ambientais georreferenciados, espacialização dos dados, desenvolvimento do modelo conceitual da suscetibilidade a deslizamentos, implementação em um sistema de informações geográficas e validação.

Na concepção do modelo conceitual de suscetibilidade a deslizamento foram considerados somente os atributos ambientais naturais, não levando em consideração a ação antrópica. Foram utilizados os dados ambientais correspondentes à declividade, forma do terreno, tipos de solos, formações geológicas e geomorfológicas na escala de 1:250.000 (IBGE, 2013; VALERIANO, 2008).

A lógica Fuzzy foi utilizada como modelo matemático para a implementação do modelo conceitual e, em seguida o uso da inferência espacial utilizando o operador Fuzzy Média Ponderada AHP representada na equação 1, onde  $S_c$  é a suscetibilidade,  $D_a$  é o valor Fuzzy do dado ambiental e  $P_{ahp}$  é o peso AHP do dado ambiental (MEIRELLES et al., 2007). Todos os procedimentos foram realizados utilizando a ferramenta “Calculadora Raster” do Software Quantum GIS 2.2 (QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM, 2014).

$$S_c = \sum_{i=1}^5 D_a P_{ahp} \quad (1)$$

Os pesos AHP (Processo Analítico Hierárquico) foram obtidos utilizando o software PriEst 2.0 (SIRAJ et al., 2013). Para tal, baseou-se no conhecimento empírico já disponível gerado por Massa e Ross (2012), Ross (2012), Bispo et al. (2011), Spörl e Ross (2004), Crepani et al. (2001) e Ross (1994), em relação as fragilidades dos ambientes. A Tabela 1 mostra os pesos obtidos de cada dado ambiental utilizado.

O AHP de Saaty (1980) é um processo de tomada de decisão e hierarquização baseada na lógica de comparação par a par, onde, diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente e comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-determinada que expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro em relação à tomada de decisão (SILVA e NUNES, 2009 apud PINESE JÚNIOR e RODRIGUES, 2012).

**Tabela 1 – Pesos AHP dos Dados Ambientais utilizados**

Plano de Informação	Peso AHP
Declividade	0,40198
Forma do Terreno	0,23129
Solos	0,19216
Geologia	0,12524
Geomorfologia	0,04933

Fonte: Dados do autor.

A seguir são apresentadas as tabelas (Tabelas 2 a 6) com os valores Fuzzy de cada classe dos dados ambientais utilizados. A Teoria dos Conjuntos Fuzzy (ou conjuntos difusos) foi elaborada por Zadeh (1965). Segundo Aguado e Cantanhede (2010) a diferença entre a lógica Fuzzy e a lógica booleana é a capacidade desta de se aproximar do mundo real onde não existem somente respostas extremas. Para a ponderação das classes foi utilizado valores empíricos já consolidados na literatura onde valores próximos de “0” significam classes menos frágeis e os valores próximos a “1” mais frágeis ambientalmente, ou seja, áreas menos frágeis são pouco suscetíveis a deslizamentos enquanto áreas mais frágeis são mais suscetíveis a deslizamentos.

**Tabela 2 – Valores Fuzzy relativos às classes de declividade.**

Classe	Valor Fuzzy
0-3 %	0,2
3-6 %	0,4
6-9 %	0,6
9-12 %	0,8
12-20 %	1

Fonte: Pesos baseados em Ross (1994).

**Tabela 3 – Valores Fuzzy relativos aos tipos de formas do terreno.**

Classe	Valor Fuzzy
Côncava Convergente	1
Côncava Planar	0,9
Côncava Divergente	0,8
Retilínea Convergente	0,7
Retilínea Planar	0,6
Retilínea Divergente	0,5
Convexa Convergente	0,4
Convexa Planar	0,3
Convexa Divergente	0,2

Fonte: Pesos baseados em Valeriano (2008) que oferece livre acesso a variáveis geomorfológicas locais derivadas de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission).

**Tabela 4 – Valores Fuzzy relativos às classes de solos.**

Classe	Valor Fuzzy
Latossolo Amarelo distrófico	0,2
Neossolo Quartzarênico órtico	0,4
Gleissolo Tiomófico órtico	0,6

Fonte: Pesos baseados em Ross (1994).

**Tabela 5 - Valores Fuzzy Relativos às classes de Geologia.**

Classe	Valor Fuzzy
Grupo Barreiras	0,8
Depósito de Pântanos e Mangue	0,1

Fonte: Pesos baseados em Ross (1994).

**Tabela 6 - Valores Fuzzy Relativos às Classes de Geomorfologia.**

Classe	Valor Fuzzy
Litoral de Mangues e Rias	0,1
Tabuleiros Costeiros Maranhenses	0,3

Fonte: Pesos baseados em Ross (1994)

Após os cruzamentos dos dados foi gerada uma imagem monocromática (com valores variando de 0 a 1) em formato *Tagged Image File Format* (extensão de arquivo .tiff), que posteriormente foi fatiada utilizando intervalos equidistantes, com um total de 5 classes de suscetibilidade (Tabela 7).

**Tabela 7 - Fatiamento das Classes.**

Classe	Intervalo
Muito Alta	0,8 – 1
Alta	0,6 – 0,8
Moderada	0,4 – 0,6
Baixa	0,2 – 0,4
Muito Baixa	0 – 0,2

Fonte: Intervalos adaptados de Kayastha et al. (2013).

## Resultados e discussões

Na Figura 2 é apresentado o mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos para a BHRA. Com base no mapeamento, foi obtida a área de cada classe de suscetibilidade conforme a Tabela 8.

**Tabela 8 - Área por classe de suscetibilidade.**

Classe	Área (Km <sup>2</sup> ) (%)
Muito Alta	0,137 (0,333%)
Alta	3,718 (9,068%)
Moderada	28,690 (69,975%)
Baixa	8,407 (20,504)
Muito Baixa	0,048 (0,117%)
Total	41,000 (100%)

Fonte: Dados da pesquisa (2013).

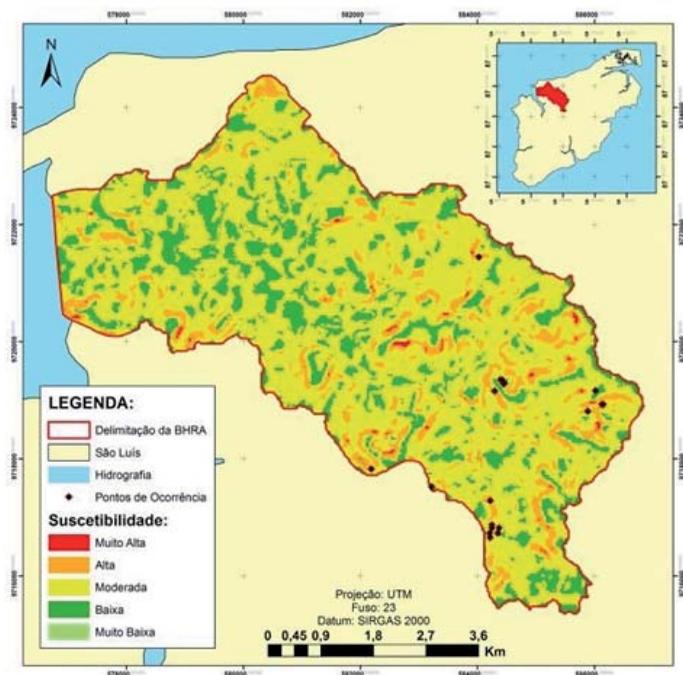


Figura 2 – Mapa de suscetibilidade a deslizamento da BHRA. Fonte: Dados da pesquisa.

Nas áreas com suscetibilidade Muito Baixa, a possibilidade de ocorrência de deslizamentos é praticamente inexistente, pois os terrenos são de baixa declividade, não permitindo o fluxo rápido de massas de solo ou rocha pelo efeito da gravidade. Também apresentam essa característica, devido a sua forma de terreno convexa, que segundo Dias e Hermann (2002) reduz a suscetibilidade a deslizamentos.

Nos locais com suscetibilidade moderada existe uma possibilidade de ocorrência de deslizamentos ainda que reduzido. Correspondem a formas de terreno retilínea, com declividade entre 6 e 12%. Segundo Coelho (2008) em áreas com essa característica a manutenção da cobertura vegetal (mata ou reflorestamento) reduz o perigo de movimentos. Nessas áreas a forma do terreno e a geologia influem acentuadamente uma vez que fatores como o solo e geomorfologia são pouco frágeis e bem homogêneos na área da bacia. A Formação Barreiras devido a sua fragilidade e a formas de terreno como as retilíneas e côncavas que estão mais expostas a erosão na ocorrência de precipitações atuam nessa classe de suscetibilidade.

Em áreas que apresentam suscetibilidade Muito Alta há uma grande possibilidade de ocorrência de deslizamentos. São áreas de alta declividade ocorrendo de 12 a 20%, formas de terreno côncavas de alta exposição a processos erosivos.

Analisando a Tabela 8 é possível observar que as áreas de suscetibilidade Muito Baixa são quase inexistentes apresentando um total de 0,117% em relação à área total. As áreas de suscetibilidade Moderada são as mais expressivas, totalizando 69,975% em relação à área total.

É possível observar no cruzamento entre os pontos de ocorrência de deslizamentos e o mapeamento de suscetibilidade que a grande maioria das ocorrências (16 pontos, 84, 21%) está situada em áreas de suscetibilidade moderada, o que pode ser explicado pela maior densidade populacional em relação outras áreas de ocorrência além da questão do tipo do uso e cobertura da terra. As áreas de Baixa e Alta suscetibilidade apresentaram respectivamente 1 e 2 pontos de ocorrência.

Para as áreas que correspondem à suscetibilidade Muito Baixa, Baixa e Moderada são aptas a ocupação com observação em relação às normas técnicas e ambientais. Em áreas já estabelecidas se possível é necessário a adequação técnica e ambiental da ocupação (Figura 3).

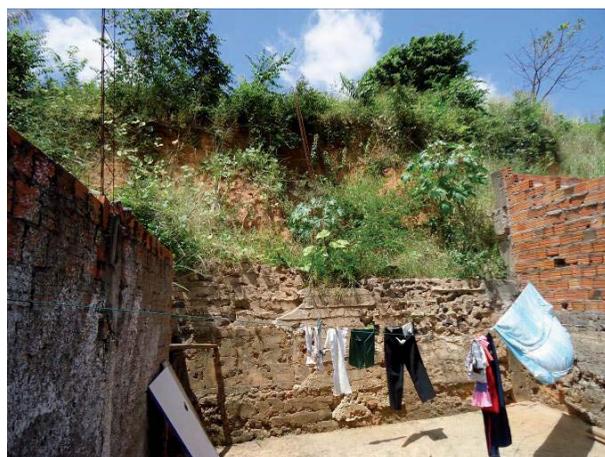


Figura 3 – Área com suscetibilidade moderada com muro de contenção.

Fonte: Registro da pesquisa (2013).

Em áreas com suscetibilidade mapeadas como Alta é importante a proibição da ocupação devido a associação de fatores que possibilitam a ocorrência de deslizamentos na presença de desencadeadores como uma alta quantidade de precipitação. Em áreas urbanas já consolidadas é importante o monitoramento por parte dos órgãos competentes com o objetivo de se prevenir a perda de vidas e bens materiais (Figura 4).



Figura 4 – Área com suscetibilidade alta com presença de resíduos.

Fonte: Registro da Pesquisa (2013).

As áreas de suscetibilidade Muito Alta observadas foram consideradas impróprias a ocupação devido, principalmente, à associação de fatores extremos que geram uma grande possibilidade de ocorrência de deslizamentos.

Foi observado que a ocupação urbana, independente dos fatores e condições ambientais do local de ocupação, ocasionam diversos problemas, desde os sociais até problemas de aumento de riscos a desastres naturais relacionados a deslizamentos. Segundo Nogueira (2002) nas áreas de maior adensamento populacional, os assentamentos humanos são estabelecidos de maneira irregular, o que é observado em várias partes do Brasil onde são implantadas comunidades inteiras em áreas de encostas o que aumenta significativamente a possibilidade de ocorrência de desastres.

## Considerações finais

Os resultados obtidos indicaram que a modelagem espacial utilizando a lógica Fuzzy foi adequada para mapear a suscetibilidade a deslizamentos. Na metodologia utilizada o uso da técnica de AHP que converte dados empíricos qualitativos inerentes do pesquisador em valores de significância numérica é determinante no tratamento da inter-relação dos dados utilizados para o mapeamento da suscetibilidade deslizamento. Os resultados alcançados mostraram também que os fatores ambientais são parte dos fatores que desencadeiam a ocorrência dos deslizamentos na BHRA.

Tendo em vista a importância dos dados aqui gerados, uma vez que estudos semelhantes não foram realizados para a área de estudo fica sugerida a inclu-

ção de dados como o adensamento populacional que foi identificado como um importante fator de determinação de ocorrência de deslizamentos para futuros estudos na área, dessa maneira fornecendo dados importantes para auxiliar na gestão desse fenômeno por parte dos órgãos competentes.

## Referências bibliográficas

- AGUADO, A. G.; CANTANHEDE, M. A. **Lógica Fuzzy**. 2010. Disponível em: <[http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010\\_IA\\_FT\\_UNICAMP\\_logicaFuzzi.pdf](http://www.ft.unicamp.br/liag/wp/monografias/monografias/2010_IA_FT_UNICAMP_logicaFuzzi.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2013.
- ALCÂNTARA, E. H. Mudanças climáticas, incertezas hidrológicas e vazão fluvial: o caso do estuário do Rio Anil. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 12, p. 158–173, 2004.
- ARAÚJO, E. P. de et al. Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Natal: INPE, 2009.
- BEZERRA, D. D. S. **O Ecossistema Manguezal em Meio Urbano no Contexto de Políticas Públicas de Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Anil, São Luís, Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA. 2008.
- BISPO, P. da C. et al. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 467–478, 2011.
- BRASIL. **Diário Oficial da União - nº 167, quinta-feira, 29 de agosto de 2013**. 2013a. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=29/08/2013>>. Acesso em: 1 dez. 2013.
- BRASIL. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2012**. 2. ed. Brasília: CENAD, 2013b. p. 84
- COELHO, C. J. D. C. **Lógica Fuzzy e Geoprocessamento na Determinação da Vulnerabilidade à Ocupação Direta dos Mangues na Bacia Hidrográfica do Anil, na Ilha de São Luís-MA**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA. 2008.
- CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. **INPE-8454-RPQ/722**, 2001.
- DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. de P. Susceptibilidade a deslizamentos : estudo de caso no bairro Saco Grande , Florianópolis – SC. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 57–73, 2002.
- FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3-4, p. 85–98, 2008.
- HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides**. Reston: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. p. 129

- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22 out. 2013.
- IBGE. **GeoNetwork: portal para informações e dados espaciais do IBGE**. 2013. Disponível em: <<http://www.metadados.geo.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2013.
- KAYASTHA, P. et al. GIS based landslide susceptibility mapping using a fuzzy logic approach: A case study from Ghurmi-Dhad Kholra area, Eastern Nepal. **Journal of the Geological Society of India**, v. 82, n. 3, p. 249–261, 2013.
- MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 24, n. 2012, p. 57–79, 2012.
- MEIRELLES, M. S. P. et al. Métodos de Inferência Geográfica: Aplicação no planejamento regional, na avaliação ambiental e na pesquisa mineral. In: MEIRELLES, M. S. P. et al. (Eds.). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 593.
- MUÑOZ, V. A. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. Monografia (Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP. 2005.
- NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista. 2002.
- PFALTZGRAFF, P. A. D. S. **Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife**. Tese (Doutorado em Geologia) - CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife - PB. 2007.
- PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 23, n. 2012, p. 4–26, 2012.
- QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. **Guia do utilizador do QGIS**. 2014. Disponível em: <[http://www.qgis.org/pt\\_PT/docs/user\\_manual/](http://www.qgis.org/pt_PT/docs/user_manual/)>. Acesso em: 1 jan. 2014.
- ROSS, J. L. S. ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 8, p. 63–74, 1994.
- ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. especial, p. 38–51, 2012.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980. p. 287
- SIRAJ, S. et al. PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments. **International Transactions in Operational Research**, n. 2013, p. 1–19, 2013.
- SOUZA, B. de B. G. **Caracterização de indicadores socioambientais na bacia do rio Anil, São Luís – MA, como subsídio à análise econômica-ambiental do processo de desenvolvimento**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense. 2005.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Revista GEOUSP**, n. 15, p. 39–49, 2004.
- VALERIANO, M. de M. TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. **INPE-15318-RPQ/818**, p. 0–72, 2008.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.