
MONITORAMENTO DE ÁREAS DE RISCO COM A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Gabriella Teixeira Dias Leite

Raissa Zachello Gomes Pinheiro

Sergio Vicente Denser Pamboukian

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar a contribuição das geotecnologias para previsão e alerta de desastres naturais em determinadas áreas de risco. Para realizar essa avaliação, foi escolhida a região de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro, onde ocorreram deslizamentos de terra no Réveillon de 2009 para 2010. O estudo de caso foi realizado por meio da análise de dados dinâmicos colhidos em campo pelos servidores do *software* TerraMA² (*Terra Modeling, Analysis and Alert*) e dados estáticos obtidos de outras fontes e processados pelo Sistema de Informações Geográficas QGIS. A partir de um algoritmo de análise implementado no TerraMA², foi possível avaliar o risco de ocorrência de deslizamentos da região em estudo por meio da visualização e interpretação das imagens geradas pela plataforma. Após a conclusão do estudo, foi possível verificar a eficiência da ferramenta tanto na importação de dados estáticos e dinâmicos quanto na definição dos modelos de análise e apresentação dos mapas de risco.

Palavras-chave: Deslizamento de terra. Geoprocessamento. TerraMA². Angra dos Reis.

1 INTRODUÇÃO

Ultimamente tem-se observado um aumento na ocorrência de desastres naturais no Brasil devido a ações antrópicas ou intempéries no meio (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009, p. 15). Em virtude disso, é necessário que haja um avanço nas técnicas de monitoramento das áreas de risco. Nessas regiões não é recomendada a construção de casas ou outras instalações por conta da topografia do terreno, falta de estabilidade do solo, ou proximidade aos cursos d'água. Além disso, podem ocorrer situações de risco temporárias, denominadas estado de emergência, onde uma região restrita é atingida por fatores não previstos, como chuvas fortes ou estiagens.

Entre os fenômenos naturais que ocorrem em áreas de risco mais comuns no Brasil, podem-se citar as erosões, as secas, as inundações e os escorregamentos de terra, sendo esses dois últimos os mais preocupantes pelo elevado número de vítimas fatais e grandes prejuízos materiais gerados nas últimas décadas (PEDROSO; HOLM-NIELSEN, 2017). Segundo Nobre (2011), as mortes causadas por deslizamentos de terra correspondem a 60% dos desastres naturais, embora as inundações ocorram com mais frequência.

O deslizamento de terra é uma movimentação de materiais sólidos, como rochas, solos e vegetação, ao longo de taludes de corte ou naturais, e aterros ((DESLIZAMENTOS, 2017). Os fatores que influenciam a ocorrência desse processo estão ligados ao tipo de solo e à declividade da encosta, sendo intensificados com a retirada da cobertura vegetal para ação e habitação humana, geralmente irregular e desordenada. Quando ocorrem grandes precipitações, a probabilidade de o solo ficar saturado e vir a romper é maior, uma vez que a vegetação, responsável por ajudar a manter a coesão do solo, foi retirada, facilitando a infiltração e o acúmulo de água. Essa é uma realidade que poderia ser evitada ao impedir a ocupação irregular ou desocupar tais áreas de risco.

Para Ortega (2013),

Não há, porém, nenhuma perspectiva de que essa situação se modifique, a curto prazo, uma vez que devido à crescente desigualdade socioeconômica associada ao desemprego, à falta de moradia, à deseducação, etc., a ocupação de encostas sem os cuidados necessários tende a aumentar, levando a um consequente aumento do número de acidentes dessa natureza.

No Brasil, presenciamos a ideia de que remediar é melhor do que prevenir. Isso se torna evidente quando a resposta aos investimentos em desastres naturais é maior do que em prevenção “[...] o Ministério da Integração aplicou R\$ 7,3 bilhões na rubrica ‘Respostas aos Desastres e Reconstrução’ e R\$ 697,8 milhões em ‘Prevenção e Preparação para Desastres’[...]” (QUERO, 2013).

Em consequência disso, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), após questionar a possibilidade de prever e evitar a ocorrência de desastres naturais, criou o TerraMA² (*Terra Modeling, Analysis and Alert*). Trata-se de uma plataforma para o desenvolvimento de aplicativos de monitoramento, análises e alertas para fatores ambientais intensos (LOPES, 2013).

Sendo assim, verifica-se a importância no desenvolvimento deste artigo, pois o Brasil não possui um banco de dados de ocorrência de desastres naturais, dificultando a compreensão do comportamento dos mesmos e suas consequências (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009, p. 22). Além disso, o aumento das chuvas, a agressividade das precipitações e os extremos climáticos reforçam a necessidade de monitorar as diversas regiões que estão sujeitas a essas mudanças.

Com isso, temos como objetivo analisar a contribuição das técnicas de geoprocessamento na prevenção e no alerta de desastres naturais em áreas de risco. Para atingir esse objetivo, este artigo:

- identifica as técnicas de geoprocessamento e as geotecnologias que podem ser utilizadas para analisar o risco de ocorrência de deslizamentos de terra;
- identifica os dados dinâmicos e estáticos que podem ser utilizados em uma análise de risco;
- realiza estudos de caso utilizando o *software* TerraMA², analisando a influência da declividade do terreno e do uso do solo na geração de mapas de risco.

2 METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido por meio de pesquisas teórica e prática. A pesquisa teórica teve como fundamento buscar informações de ocorrências de desastres naturais na região de Angra dos Reis, nos últimos anos. Também foram estudados os conceitos de geoprocessamento e sensoriamento remoto, além do funcionamento dos *softwares* QGIS e TerraMA², de ferramentas, obtenção dos dados, algoritmos de análise e interpretação de resultados.

O geoprocessamento representa um conjunto de técnicas computacionais e matemáticas capazes de obter e analisar dados georreferenciados e, a partir disso, mostrar resultados em forma de imagens e mapas. Para aplicação do geoprocessamento, podem-se utilizar várias técnicas e ferramentas, dentre elas, o sensoriamento remoto.

Segundo Florenzano (2002, apud LACERDA, 2010), o sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre pela captação e pelo registro da energia eletromagnética refletida ou emitida. A

palavra sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto significa que é feita a distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre. Imagens obtidas de satélites e fotografias aéreas são exemplos de dados obtidos por sensoriamento remoto. As mesmas podem ser processadas pelo *software* QGIS, por exemplo, antes de serem utilizadas na análise de risco.

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido pela Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), que pode ser obtido gratuitamente via internet e que permite a manipulação de imagens matriciais e vetoriais, consulta e análise espacial, bem como a geração de mapas temáticos a partir de informações georreferenciadas (OPEN SOURCE GEOSPATIAL FOUNDATION, 2014).

A pesquisa prática foi realizada a partir da análise de dados ambientais colhidos em campo pelos servidores do *software* TerraMA² em tempo real. Além desses dados dinâmicos, a pesquisa baseou-se também na análise de dados estáticos, entre eles, limite da área de estudo, divisão de municípios e setores censitários, rios, vias, uso do solo e declividade do terreno, os quais são essenciais para associação de informações, visualização e interpretação das imagens finais.

A principal função do TerraMA² é emitir alertas a respeito da situação de risco de determinada região. Para isso, utiliza-se como base um Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual é responsável pela associação de dados ambientais do local estudado (climáticos, hidrológicos, entre outros), registrados por servidores em tempo real, com dados estáticos (informações cartográficas) fornecidos pelo usuário do sistema. Com base em um algoritmo inserido pelo usuário, ao detectar situações de risco, alertas serão emitidos via e-mail ou aplicativos de celular. Paralelamente, mapas das áreas de risco são gerados e atualizados em tempo real pelo sistema na internet, usando cores para representar a intensidade dos riscos (LOPES, 2013).

Neste artigo, para elaboração do mapa de uso do solo da região de Angra dos Reis, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT-5, com instrumento sensor TM (*Thematic Mapper*). Utilizou-se uma combinação das sete bandas espectrais disponíveis que foram baixadas diretamente pelo *software* QGIS. O mapa de uso do solo foi obtido por meio de uma classificação supervisionada dessas imagens utilizando o complemento (*plugin*) *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP), disponível gratuitamente no QGIS.

Classificação supervisionada é uma técnica que permite identificar as diferentes regiões (classes) de uma imagem (vegetação, água, terra nua, área urbanizada etc.) por um processo de treinamento em que são colhidas amostras de cada uma das classes, são desenvolvidas assinaturas espectrais para cada classe e, em seguida, realizado um processo de classificação da imagem completa com base nas amostras colhidas.

Para obtenção do mapa de declividade, foram utilizadas imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (*Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM), que também podem ser usadas para geração de curvas de nível, mapas hipsométricos, mapas de relevo sombreado, entre outros.

A SRTM foi uma missão espacial da National Aeronautics and Space Administration (Nasa), que teve como objetivo obter um Modelo Digital do Terreno (MDT) da Terra para gerar uma base de cartas topográficas digitais terrestres de alta resolução.

Os demais recursos para realização deste artigo foram obtidos de forma gratuita:

- o modelo digital do terreno em formato GeoTiff gerado a partir da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi obtido no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), no projeto Topodata (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>);
- o mapa de setores censitários em formato *shapefile* foi obtido no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na área de Geociências (<http://www.ibge.gov.br/>);
- o *software* QGIS utilizado para geração dos mapas de declividade e classificação supervisionada foi obtido no *site* do QGIS (<http://qgis.org/>);
- o *software* TerraMA² e a base de dados geográficas TerraView foram adquiridos no *site* do Inpe (<http://www.inpe.br/>);
- os dados dinâmicos foram obtidos diretamente pelo TerraMA² de duas fontes:
 - Hidroestimador do DSA-INPE (http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/), que permite estimar a quantidade de chuva (em mm/h) a partir de uma banda do infravermelho do satélite GOES-12;
 - modelo de previsão numérica Eta, que permite prever a quantidade de precipitação de chuva nas próximas 72 horas (<http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/>).

3 ESTUDO: DESLIZAMENTO DE TERRA – ANGRA DOS REIS

Na madrugada da virada do ano de 2009 para 2010, ocorreu em Angra dos Reis, município situado no sul do Estado do Rio de Janeiro, um deslizamento de terra causado, principalmente, pelo excesso de chuvas na região. O deslizamento de uma encosta atingiu uma pousada (Pousada Sankay) e sete casas em Ilha Grande. No continente, também ocorreu outro desmoronamento de terra, no Morro da Carioca, no centro histórico da cidade.

A tragédia provocou a morte de 53 pessoas e ainda deixou outras desabrigadas. Segundo dados divulgados no R7 Notícias (2010), em 40 horas choveu cerca de 100 mm, equivalente à metade da quantidade de chuva do mês inteiro de dezembro.

Neste artigo, utilizamos dados pluviométricos de estimativa e previsão da chuva entre o período de 31 de janeiro de 2009 a 1º de janeiro de 2010, de toda a área de influência do ocorrido em Angra dos Reis, porém focando nos dois pontos demarcados na Figura 1.



Figura 1 Angra dos Reis e Ilha Grande.

Fonte: Google Maps.

3.1 Estudo de Caso 1

Esse estudo de caso, realizado com o objetivo de ser parâmetro de comparação para o Estudo de Caso 2, retrata fielmente os parâmetros, limites e características propostos no roteiro disponível na documentação do TerraMA².

No TerraMA², cada estudo é baseado em diversos tipos de análise. A análise é um processo que tem o objetivo de avaliar e demonstrar as condições de risco de uma região. A partir da análise elaborada, é possível executar o estudo e visualizar em formato de imagens os diferentes graus de alerta para cada limite dos planos estabelecidos (municípios ou setores censitários, por exemplo). A seguir, são descritas em detalhes duas das análises realizadas neste estudo de caso.

3.1.1 Análise 1 – Precipitação máxima por satélite GOES

Essa análise utiliza dados do Hidroestimador do DSA-INPE para estimar a quantidade de chuva ocorrida (em mm/h). A taxa de coleta dessas imagens é de 30 em 30 minutos, na resolução de 4 por 4 km (Figura 2). Foi utilizado o operador de máximo

zonal para a análise da precipitação instantânea ocorrida em cada polígono (município). A Figura 2 mostra uma série de arquivos do hidroestimador sobrepostos a um polígono de risco e, nesse caso, para o plano atual (polígono de risco), o operador máximo zonal retornará o valor 17.

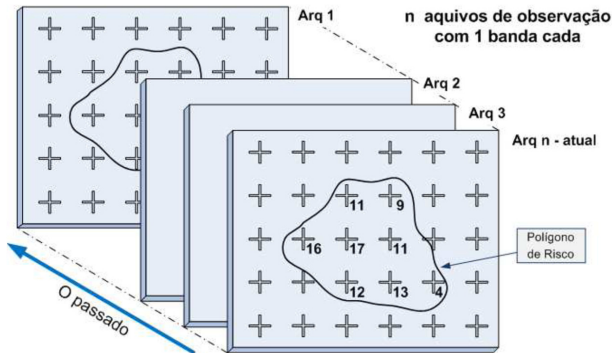


Figura 2 Dados do Hidroestimador do DSA-INPE.

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013).

Para essa análise, os níveis de risco foram divididos nas seguintes faixas:

- Nível 0 (Normal): valores inferiores a 12 mm.
- Nível 1 (Observação): valores entre 12 mm e 25 mm.
- Nível 2 (Atenção): valores entre 25 mm e 30 mm.
- Nível 3 (Alerta): valores entre 30 mm e 40 mm.
- Nível 4 (Alerta máximo): valores acima de 40 mm.

O algoritmo de análise escrito em linguagem Lua pode ser visto a seguir:

```
local var1 = maximo ('hidro') or 0
if var1 == nil or var1 < 12 then
    return 0
else if var1 < 25 then
    return 1
elseif var1 < 30 then
    return 2
elseif var1 < 40 then
    return 3
else
    return 4
end
```

3.1.2 Análise 2 – Precipitação total por satélite e modelo de previsão

Nessa análise foram utilizados dados do Hidroestimador e a previsão do modelo Eta. A precipitação média histórica do Hidroestimador nas últimas 24 horas foi obtida pelo operador “prec_media_historico_grid” e a previsão da média de chuva para as próximas 4 horas fornecidas pelo modelo Eta foi obtida pelo operador “media_pn”. O valor da precipitação total é a soma dos valores obtidos pelos dois operadores. Os níveis de risco foram divididos nas seguintes faixas:

- Nível 0 (Normal): valores inferiores a 30 mm.
- Nível 1 (Observação): valores entre 30 mm e 50 mm.
- Nível 2 (Atenção): valores entre 50 mm e 80 mm.
- Nível 3 (Alerta): valores entre 80 mm e 110 mm.
- Nível 4 (Alerta máximo): valores acima de 110 mm.

O algoritmo de análise escrito em linguagem Lua pode ser visto a seguir:

```
local max_prec = prec_media_historico_grid('hidro',24)
                or 0
local prev24h = media_pn ('eta_5km',4) or 0
local chuvaTotal = max_prec + prev24h
if chuvaTotal == nil or chuvaTotal < 30 then
    return 0
elseif chuvaTotal < 50 then
    return 1
elseif chuvaTotal < 80 then
    return 2
elseif chuvaTotal < 110 then
    return 3
else
    return 4
end
```

3.1.3 Comparativo das análises

As análises foram realizadas de 30 em 30 minutos no período de 31 de janeiro de 2009 a 1º de janeiro de 2010. Dentre as imagens obtidas, podem-se destacar duas retratando o mesmo período para cada uma das análises (Figuras 3 e 4).

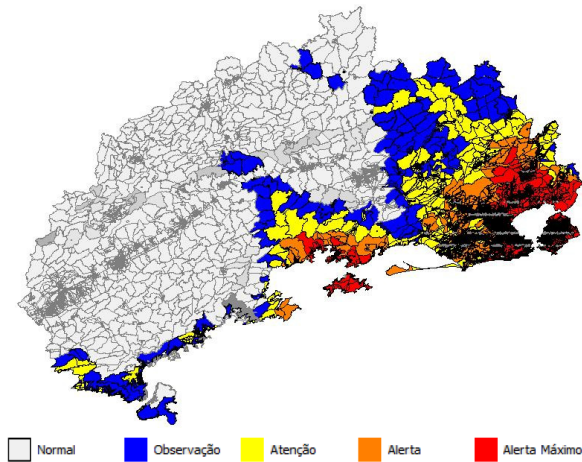


Figura 3 Resultado da Análise 1 no dia 31/12/2009, às 19 horas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

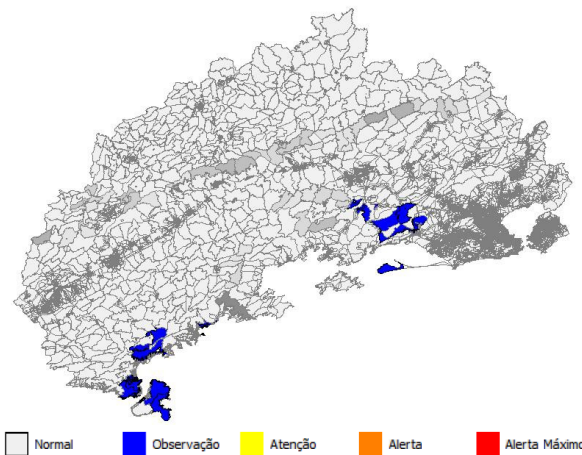


Figura 4 Resultado da Análise 2 no dia 31/12/2009, às 19 horas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Entre as duas análises realizadas, percebe-se que a Análise 1, utilizando o operador “máximo” do Hidroestimador, trouxe um resultado de toda a região de Angra dos Reis em estado de alerta no dia 31/12/2009, às 19 horas. Já a Análise 2, utilizando o operador “média”, tanto para a média histórica nas últimas 24 horas do Hidroestimador quanto para a média de chuvas prevista para as próximas 4 horas fornecidas pelo

modelo Eta, trouxe a região de Angra dos Reis em estado normal no dia 31/12/2009, às 19 horas.

Sendo assim, no segundo estudo de caso, foi utilizado o operador de “máximo” com o intuito de prever a pior situação à qual a região está submetida, e, também, foram associadas as duas análises realizadas no Estudo de Caso 1, a precipitação máxima por satélite GOES e o modelo de previsão Eta.

3.2 Estudo de Caso 2

O Estudo de Caso 2 é uma evolução do Estudo de Caso 1. Ele utiliza as mesmas informações estáticas e dinâmicas, porém inclui dois itens que são considerados de grande influência na ocorrência de um deslizamento de terra: a declividade do terreno e o uso do solo.

3.2.1 Mapa de declividade do terreno

O mapa de declividade foi gerado no QGIS, a partir de quatro imagens SRTM, baixadas diretamente pelo *site* do Inpe do projeto Topodata.

No *software* QGIS, a opção escolhida foi de Modelo Digital de Elevação (MDE) e as classes de relevo foram separadas de acordo com a classificação da declividade proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (1999), conforme o Quadro 1.

QUADRO 1

Classes de declividade.

Intervalo classe de declividade		
0 - 3%	Plano	Classe 1
3 - 8%	Suave ondulado	Classe 2
8 - 13%	Moderadamente ondulado	Classe 3
13 - 20%	Ondulado	Classe 4
20 - 45%	Forte ondulado	Classe 5
>45%	Montanhoso	Classe 6

Fonte: Moraes (2012).

Após a obtenção do mapa de declividade, o qual é mostrado na Figura 5, pôde ser feita a reclassificação da imagem, para poder exportá-la para o *software* TerraMA². A reclassificação é a transformação dos valores de todos os *pixels* da imagem, que estão na faixa de 0 a 100 (porcentagem), em valores na faixa de 1 a 6, que representam a classe de declividade correspondente.

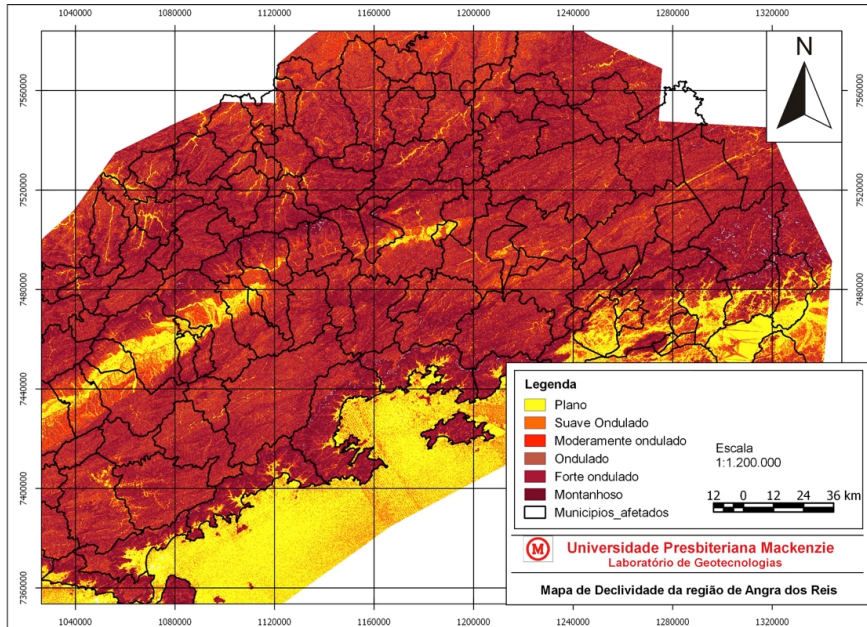


Figura 5 Mapa de declividade da região de Angra dos Reis.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.2 Mapa de uso do solo

O mapa de uso do solo foi gerado por meio da classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT-5 realizada a partir do SCP (*plugin* disponível no QGIS utilizado para a classificação semiautomática de imagens de sensoriamento remoto).

A classificação supervisionada permite a criação de áreas de treinamento ou regiões de interesse e a classificação de outras áreas a partir dessas já delimitadas, para então obter a imagem classificada por completo.

A associação das classes é feita por assinaturas espectrais, as quais são geradas pela combinação de bandas da imagem de sensoriamento remoto e que permitem realçar alguns aspectos da superfície terrestre como vegetação, espelhos d'água, áreas habitadas, regiões frias/quentes etc.

O objetivo da classificação foi identificar as seguintes classes de uso do solo:

- Classe 1: Água.
- Classe 2: Vegetação.
- Classe 3: Solo descoberto.
- Classe 4: Construção.

O resultado pode ser visto na Figura 6.

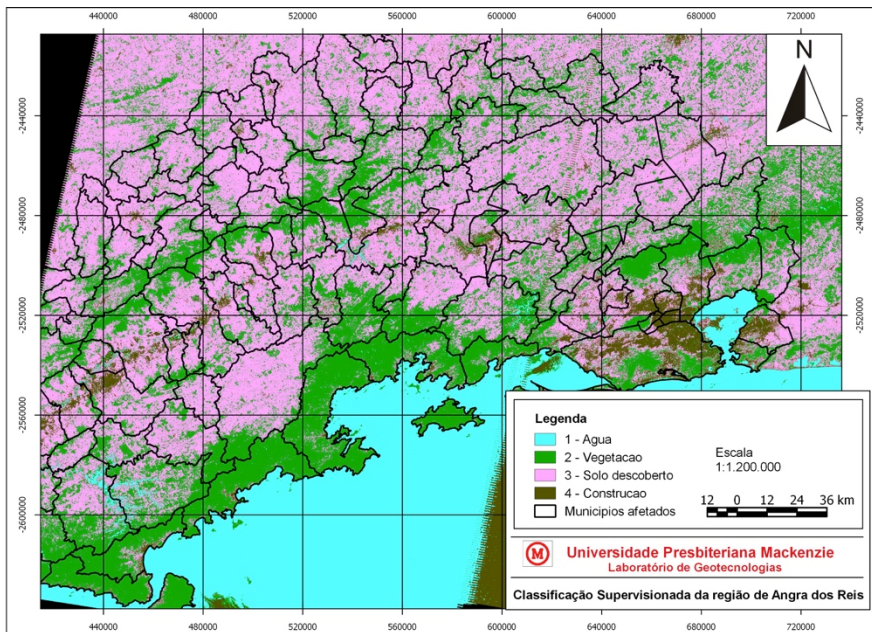


Figura 6 Classificação supervisionada da região em Angra dos Reis.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2.3 Modelo de análise

O modelo de análise utilizado para o novo estudo baseou-se na pesquisa feita por Soares (2006), o qual classificou as chuvas em Angra dos Reis e as relacionou com a ocorrência de deslizamento, e, a partir da pesquisa de Moraes (2012), a qual atribuiu para cada classe de declividade e cada classe de uso do solo suas respectivas suscetibilidades.

Soares (2006) realizou diversos traçados das linhas de tendência entre precipitação sem deslizamento e a precipitação com ocorrência de deslizamento. E, dentre todos os tipos testados, o que melhor se ajustou foi o representado na Equação 1.

$$Pac24h = 158,22 \times e^{-0,0141 (P2d)} \quad (1)$$

em que:

Pac24h = Precipitação acumulada-crítica de 24 horas para indução de deslizamentos (mm).

P2d = Precipitação acumulada de 2 dias anteriores ao deslizamento (mm).

Soares (2006) constatou, a partir da análise da Equação 1, calculada para a envol-tória de 2 dias, que “[...] acumulados diários de precipitação a partir de 75 mm, po-dem ocasionar riscos de deslizamentos na região em estudo [...]”.

Dessa forma, buscando associar a previsão de 24 horas ao acumulado de precipi-tação de 24 horas, Soares estabeleceu como premissa, para a ocorrência de desliza-mento na região de Angra dos Reis, o Coeficiente de Precipitação para Deslizamentos (CPD) visto na Equação 2.

$$CPD = \frac{P_{prev24h}}{Pac24h} \quad (2)$$

em que:

$P_{prev24h}$ = Previsão da precipitação para 24 horas;

$Pac24h$ = Precipitação acumulada-crítica de 24 horas para indução de deslizamentos, calculada com a Equação 1.

Portanto, a partir da Equação 2, é possível associar o CPD à ocorrência dos desli-zamentos no município de Angra dos Reis, conforme o Quadro 2.

QUADRO 2

Relação do Coeficiente de Precipitação para Deslizamentos (CPD) com o número de ocorrência de deslizamentos.

Coeficiente de Precipitação para Deslizamentos	Relação de ocorrência de deslizamentos
Valores de CPD << 1	Baixa
Valores de CPD próximos a 1	Provável
Valores de CPD > 1	Alta

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise em questão utiliza os dados de precipitação do Hidroestimador do saté-lite GOES-12 do DSA-INPE, retornando os valores acumulados de chuva, e dados de previsão do modelo Eta 5 km.

A lógica consiste em medir o valor acumulado de chuva das últimas 24 horas na região e compará-lo com o limiar dos deslizamentos: 75 mm. Sendo o valor da preci-pitação acumulada em 1 dia (p1d) inferior a 75 mm, o nível de alerta atribuído é 0 (Normal); sendo maior, o algoritmo calcula seu respectivo CPD e retorna os seguintes níveis de alerta:

- Nível 0 (Normal): valores de p1d inferiores a 75 mm.
- Nível 1 (Observação): valores de CPD inferiores a 0,5.

- Nível 2 (Atenção): valores de CPD inferiores a 0,9.
- Nível 3 (Alerta): valores de CPD inferiores a 1,2.
- Nível 4 (Alerta máximo): para qualquer valor igual ou superior a 1,2.

Além da precipitação, foi considerada também a variável referente à declividade do terreno, denominada “dec”. Os níveis de suscetibilidade para cada classe de declividade do município de Angra dos Reis foram adotados a partir das técnicas de integração, manipulação e análise de dados da dissertação de Moraes (2012), a qual baseou-se em trabalhos de laboratórios sem visita ao campo e utilizou-se a técnica qualitativa de tomada de decisão com múltiplos critérios, denominada Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process – AHP*), como ferramenta para integrar e analisar as informações produzidas.

As classes de declividades foram reescaladas para os valores de suscetibilidade conforme mostrado no Quadro 3.

QUADRO 3

Tabela contendo as classes declividades.

Classes de declividades	Suscetibilidade
0 - 3%	Baixa
3 - 8%	Baixa
8 - 13%	Baixa
13 - 20%	Baixa a média
20 - 45%	Média
>45%	Alta

Fonte: Moraes (2012).

Sendo assim, a lógica referente à análise do mapa de declividades retorna os seguintes níveis de alerta:

- Nível 0 (Normal): valores de dec iguais às classes 1, 2 ou 3.
- Nível 1 (Observação): valores de dec iguais à classe 4.
- Nível 2 (Atenção): valores de dec iguais à classe 5.
- Nível 4 (Alerta máximo): valores de dec iguais à classe 6.

Como última análise para esse estudo de caso, foram adotados valores de suscetibilidade distribuídos nas classes de uso do solo, denominados na análise de “clas”, de acordo com a classificação supervisionada para cada classe e sua vulnerabilidade aos movimentos de massa e proximidade aos núcleos urbanos existentes. Esses parâmetros

foram baseados também na dissertação de Moraes (2012) e percebe-se que para as áreas degradadas foram atribuídos os maiores valores de suscetibilidade, conforme Quadro 4.

Sendo assim, a lógica referente à análise do mapa de classificação supervisionada do uso do solo retorna os seguintes níveis de alerta:

- Nível 0 (Normal): valores de clas iguais à classe 1.
- Nível 1 (Observação): valores de clas iguais à classe 2.
- Nível 2 (Atenção): valores de clas iguais à classe 4.
- Nível 4 (Alerta máximo): valores de clas iguais à classe 3.

QUADRO 4

Tabela contendo as classes do uso e cobertura do solo.

Classes do uso da terra	Suscetibilidade
Afloramentos rochosos	Médio
Vegetação densa	Baixo
Vegetação, outras	Baixo a médio
Solo exposto	Alta
Áreas construídas	Médio
Áreas agrícolas	Baixo
Corpos hídricos	Baixo

Fonte: Moraes (2012).

O algoritmo em linguagem Lua, que leva em conta todas as informações relatadas anteriormente, pode ser visto a seguir:

```

local p2d = prec_max_historico_grid ('hidro', 48) or 0
local pac_24h = 158.22*math.exp(-0.0141*p2d)
local p1d = prec_max_historico_grid ('hidro', 24) or 0
local prev_24h = máximo_pn('eta_5km' , 24) or 0
local cpd = prev_24h/pac_24h
local dec = media ('Declividade')
local clas = media('Classificacao')
if p1d == nil or p1d < 75 or dec<=3 or clas<=1 then
    return 0 - Normal
elseif cpd < 0.5 and dec<=4 and clas<=2 then
    return 1 - Observação
elseif cpd < 0.5 and dec<=5 then
    return 2 - Atenção

```

```

elseif cpd < 0.5 and class==4 then
    return 2 - Atenção
elseif cpd < 0.9 and dec<=5 and
    (clas<=2 or clas==4) then
    return 2 - Atenção
elseif cpd < 1.2 then
    return 3 - Alerta
else
    return 4 -- Alerta Máximo
end
    
```

A partir desse algoritmo, foram geradas as imagens das Figuras 7, 8 e 9, que ilustram a situação encontrada em toda a região afetada nas proximidades de Angra dos Reis entre os dias 31/12/2009 e 1º/1/2010.

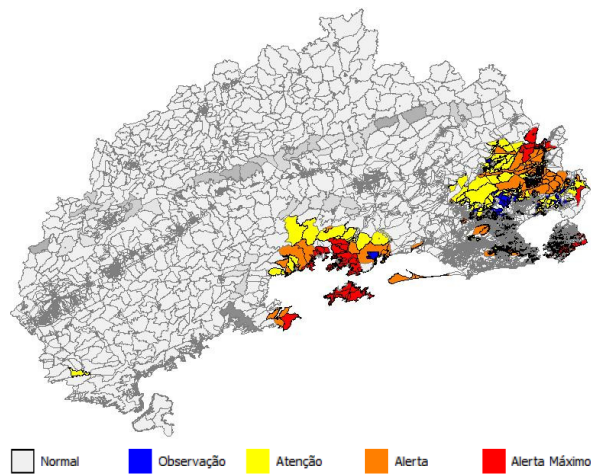


Figura 7 Resultado da análise no dia 31/12/2009, às 19 horas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

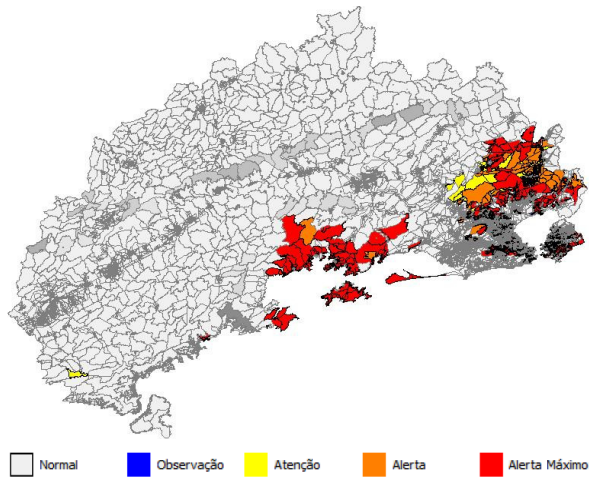


Figura 8 Resultado da análise no dia 31/12/2009, às 21 horas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

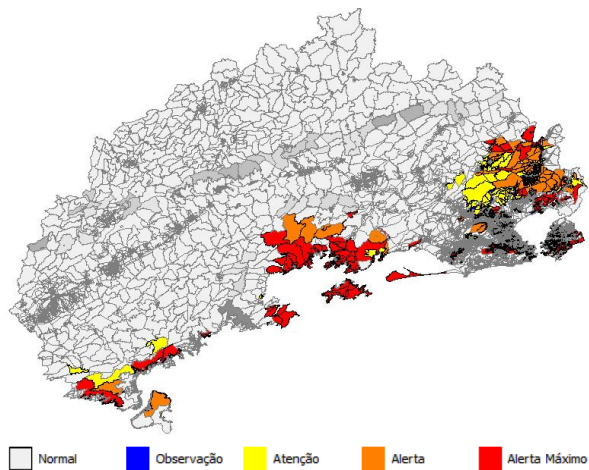


Figura 9 Resultado da análise no dia 1º/1/2010, à meia-noite.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando as Figuras 7, 8 e 9, é possível perceber a evolução do estado de alerta entre o período das 19 horas até a meia-noite da virada do ano. A partir das 21 horas, o estado mais evidenciado foi o de “Alerta máximo”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados dois estudos de caso para efeito comparativo. O primeiro, presente na documentação do TerraMA², utiliza alguns dados estáticos (limite da área de estudo, divisão de municípios, rios e vias) e dados dinâmicos referentes à estimativa e previsão de chuva. Já o segundo estudo foi desenvolvido alterando-se o dado estático “municípios” para “setores censitários” e acrescentando-se dados estáticos referentes à declividade do terreno e uso do solo.

A partir das imagens obtidas, é possível comprovar que o Estudo de Caso 2 traz melhores resultados e mais fundamentados em comparação ao primeiro estudo, visto que houve a inclusão de fatores importantes e necessários para a análise de um deslizamento de terra.

Sendo assim, áreas que eram consideradas como em observação, depois de executado o Estudo de Caso 2, tornam-se áreas em “atenção”, “alerta” e “alerta máximo”, dependendo do período da análise.

A partir do mapa de declividade, é possível visualizar que toda a parte de Angra dos Reis encontra-se nos níveis “ondulado” e “forte ondulado”, o que a torna mais suscetível aos deslizamentos de terra. Além disso, na imagem gerada pela classificação supervisionada, a região afetada pelo deslizamento encontra-se com uma alta quantidade de solo descoberto.

Ao analisar isoladamente o município de Angra dos Reis, percebe-se que os fatores mais preocupantes são a precipitação e a declividade, enquanto na região como um todo dos municípios afetados o ponto mais relevante é o uso do solo.

5 CONCLUSÃO

O município de Angra dos Reis apresenta características que por si só contribuem para o desenvolvimento de processos erosivos. A alteração do solo e as ocupações irregulares auxiliam na potencialização de tais processos. Ambas as alterações minimizam o atrito e facilitam a ocorrência do desprendimento das camadas do solo.

Com a utilização do QGIS e do TerraMA², foi verificada a eficiência das ferramentas de geoprocessamento tanto na importação de imagens e definição dos modelos de análise quanto na confiabilidade dos resultados encontrados.

Além disso, confirmou-se que a aplicação do TerraMA² na previsão e emissão de alertas em áreas de risco suscetíveis a deslizamentos de terra é de grande importância e

precisa ser difundida, principalmente, para os órgãos responsáveis pela gestão das cidades, uma vez que todos os programas utilizados e necessários para as análises são gratuitos.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a definição dos parâmetros geotécnicos do solo, como peso específico total (γ), ângulo de atrito efetivo (φ') e coesão efetiva (c'), correspondentes aos níveis de tensões e às condições de umidade ou saturação usuais no campo, para assim atribuir níveis mais precisos de suscetibilidade ao escorregamento.

Dessa forma, é possível concluir que a utilização dos SIGs é totalmente adequada ao mapeamento de deslizamentos de terra e estudos de prevenção, por parte do poder público, em áreas que necessitam de investimentos para evitar tragédias.

MONITORING OF RISK AREAS USING GEOPROCESSING TECHNIQUES

Abstract

This work aims to evaluate the contribution of geotechnologies to the prediction and alertness of natural disasters in certain risk areas. In order to carry out this evaluation, was chosen the region of Angra dos Reis, in the State of Rio de Janeiro, where landslides occurred in the New Year from 2009 to 2010. The case study was carried out through the analysis of dynamic data collected in the field by the servers of TerraMA² software (Terra Modeling, Analysis, and Alert) and static data obtained from other sources and processed by the Geographic Information System (QGIS). From an analysis algorithm implemented in TerraMA², it was possible to evaluate the risk of occurrence of landslides in the study region through the visualization and interpretation of the images generated by the platform. After the conclusion of the study, it was possible to verify the efficiency of the tool both in the import of static and dynamic data and in the definition of the models of analysis and presentation of risk maps.

Keywords: Landslide. Geoprocessing. TerraMA². Angra dos Reis.

REFERÊNCIAS

DESLIZAMENTOS. *Dia a dia educação*, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=237>. Acesso em: 10 ago. 2017.

EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). *Classificação de Solos do Estado de São Paulo*. Brasília, DF: Embrapa, 1999.

INSTITUTO Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Roteiro – TerraMA²*. Brasília, DF: Inpe, 2013. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terra2/doku.php?id=download>. Acesso em: 20 maio 2017.

LACERDA, J. M. F. de. *Uso do geoprocessamento na expansão urbana: o caso das comunidades subnormais do município de Bayeux-PB*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2010.

LOPES, E. S. S. *Monitoramento ambiental: uso do TerraMA²*. 2013. Módulo I. Brasília, DF: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <https://vimeo.com/73897885>. Acesso em: 17 maio 2016.

MORAES, I. B. C. M. *Mapeamento digital de áreas suscetíveis a escorregamento na parte continental do município de Angra dos Reis, RJ*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NOBRE, C. Deslizamentos de terra são a maior causa de mortes por desastres naturais, diz secretário. *Governo do Brasil*, 2011. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2011/03/deslizamentos-de-terra-sao-a-maior-caoa-de-mortes-por-desastres-naturais-diz-secretario>. Acesso em: 10 ago. 2017.

OPEN Source Geospatial Foundation (OSGEO). QGIS – *A Free and Open Source Geographic Information System*. 2019. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>. Acesso em: 5 ago. 2019.

ORTEGA, R. *Mapeamento de áreas de risco*. Campinas, SP: Unicamp, 2013. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/ricardo.htm>. Acesso em: 17 mar. 2016.

PEDROSO, F.; HOLM-NIELSEN, N. Desastres naturais no Brasil: um ciclo de tragédias anunciadas. *Nexo Jornal*, 8 jul. 2017. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/ensaio/2017/Desastres-Naturais-no-Brasil-um-ciclo-de-tragedias-anunciadas>. Acesso em: 10 ago. 2017.

QUERO, C. Prevenção a desastres naturais ainda esbarra em “entraves políticos” no Brasil. *BBC Brasil*, Rio de Janeiro, 18 jan. 2013. Disponível em: http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/01/130118_enchente_rio_cq_mdb.shtml. Acesso em: 27 mar. 2016.

ENTENDA como aconteceu o deslizamento em Angra. *R7 Notícias*, 2 jan. 2010. Disponível em: <http://noticias.r7.com/cidades/noticias/entenda-como-aconteceu-o-deslizamento-em-angra-20100102.html>. Acesso em: 28 maio 2017.

SOARES, E. P. *Caracterização da precipitação na região de Angra Dos Reis e a sua relação com a ocorrência de deslizamentos de encostas*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2016.

Contato

Sergio Vicente Denser Pamboukian
sergio.pamboukian@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em fevereiro de 2018.
Aprovado em abril de 2018.