



SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL¹

Isabelle Salazar Vieira Alves²

RESUMO

Sabe-se que cada vez mais tem-se um crescimento no número e na intensidade dos desastres causados por ações antrópicas, por exemplo, ocupações de áreas irregulares, adensamento urbano e ocupação de margens de rios, assim como as influências das características naturais como o relevo, geologia, inclinação das vertentes, clima e outros. O município de Petrópolis, localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro é conhecido pelos recorrentes casos de desastres, principalmente movimentos de massa e inundações, que ocorrem, em sua maioria, durante o verão, em decorrência dos altos índices pluviométricos, resultando em mortes e desabrigados todos os anos. Dessa forma, o presente trabalho buscou realizar a análise e mapeamento da Suscetibilidade Ambiental a Inundações, junto as influências das interações antrópicas. A metodologia empregada foi a combinação de técnicas de gabinete e de laboratório utilizando dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), sendo utilizadas ferramentas de geoprocessamento do software ArcGIS 10.8. Portanto, pode-se constatar que o município se caracteriza como uma zona instável pois a forma ainda está em evolução, com resposta imediata do sistema, o nível de resiliência e funcionamento, afetando o equilíbrio e o impacto, principalmente em decorrência das ocupações irregulares.

Palavras-chave: Suscetibilidade, Inundações, Parâmetros morfométricos, Interações antrópicas e naturais.

RESUMEN

Se sabe que cada vez es mayor el número y la intensidad de las catástrofes provocadas por las acciones antrópicas, por ejemplo, la ocupación de zonas irregulares, la densificación urbana y la ocupación de las riberas de los ríos, así como por las influencias de las características naturales, como el relieve, la geología, la inclinación de las pendientes, el clima y otras. El municipio de Petrópolis, situado en la Región Montañosa del Estado de Río de Janeiro, es conocido por sus recurrentes casos de catástrofes, especialmente movimientos en masa e inundaciones, que se producen sobre todo durante el verano, debido a los altos índices de precipitaciones, lo que provoca cada año muertes y personas sin hogar. De esta manera, el presente trabajo buscó realizar el análisis y mapeo de la Susceptibilidad Ambiental a las Inundaciones, junto con las influencias de las interacciones antrópicas. La metodología empleada fue la combinación de técnicas de gabinete y de laboratorio a partir de los datos proporcionados por la Agencia Nacional de Agua y Saneamiento Básico (ANA) y la Compañía de Investigación de Recursos Minerales (CPRM), utilizando las herramientas de geoprocésamiento del software ArcGIS 10.8. Por lo tanto, se puede ver que el municipio se caracteriza como una zona inestable porque la forma sigue evolucionando,

¹ O presente artigo é resultado de parte da Dissertação de Mestrado da pesquisadora, fomentado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, processo nº 2019/24229-3.

² Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas – SP, isabellesvalves@gmail.com.



con respuesta inmediata del sistema, el nivel de resiliencia y funcionamiento, afectando el equilibrio y el impacto, principalmente como resultado de las ocupaciones irregulares.

Palabras clave: Susceptibilidad, Inundación, Parámetros morfométricos, Interacciones antrópicas y naturales.

INTRODUÇÃO

Todos os anos, tem-se conhecimento sobre desastres que ocorrem durante o verão no Brasil. Uma das áreas mais afetadas pela ocorrência destes processos encontra-se próximo à costa Sudeste do país, principalmente nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (SANTOS, 2009). Os desastres resultam em mortes, feridos e perdas econômicas. De acordo com os autores Dilley et al. (2005), Brauch (2005) e Cardona (2005), os desastres naturais têm sofrido aumento em sua intensidade e frequência.

Os desastres naturais são definidos como perturbações provenientes de um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana, cujos impactos excedem a capacidade das sociedades afetadas em manter as suas funções básicas (TOMINAGA, 2009; 2015). No entanto, as interações antrópicas intensificam as suas consequências e danos, impactando a sociedade, gerando prejuízos ambientais e socioeconômicos. Com a expansão do processo de urbanização, por meio das atividades antrópicas, têm-se como resultado a problemática ambiental e de risco pois são capazes de intencionarem os fenômenos naturais, tais como as inundações, transformando-os em desastres.

Conforme a Conferência Mundial para a Redução de Desastres em Kobe, 2005 (UM, 2005), entende-se que é importante o desenvolvimento de indicadores de risco e de suscetibilidade em escalas nacional e subnacional, auxiliando nas tomadas de decisões dos órgãos representativos da sociedade, como a Prefeitura e a Defesa Civil, e no melhor diagnóstico das situações de risco. Dessa forma, é importante que se faça o estudo que aprofunde o conhecimento acerca das causas dos efeitos desiguais dos desastres à população, para que a prevenção e mitigação quanto ao risco sejam mais eficientes.

Isto posto, o objetivo principal que compõe este artigo é estudar os problemas relacionados as inundações, analisando a Suscetibilidade do município de Petrópolis, localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, por meio de ferramentas de geoprocessamento, com base na metodologia implementada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) nas Cartas de Suscetibilidade a Movimentos



Gravitacionais de Massa e Inundações (BITAR, 2014), tendo em vista os frequentes acontecimentos.

Para tal, foi realizado a identificação da suscetibilidade das bacias por meio de índices morfométricos através de Modelo Digital de Elevação (MDE) e a Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul na escala 1:25.000, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Além da compreensão dos processos naturais e da influência das ações antrópicas que podem resultar em desastres.

Portanto, constatou-se que o município se caracteriza como uma zona instável pois a forma ainda está em evolução, com resposta imediata do sistema, o nível de resiliência/funcionamento, afetando o equilíbrio e o impacto, principalmente em decorrência das ocupações irregulares.

METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos por esta pesquisa, a metodologia empregada foi a combinação de técnicas de gabinete e de laboratório, utilizando ferramentas de geoprocessamento, por meio do software ArcGIS 10.8. A análise integrada de todos os dados e os resultados obtidos, permitiram a elaboração do mapa de Suscetibilidade Ambiental a Inundações e análise conjunta da influência humana nas ocorrências dos fenômenos.

Para a construção da carta de Suscetibilidade Ambiental a Inundações foi feito o download de imagens SRTM, através do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio da plataforma TOPODATA – Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil.

Para as análises morfométricas foi utilizado a Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul na escala 1:25.000, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), logo, tem-se:

- Área de contribuição (Ac): este dado estava disponível na pasta “GEOFT_BHO_AREACONTRIBUICAO”, podendo ser encontrado na Tabela de Atributos com o nome NUAREACONT;
- Densidade de drenagem (Dd): para chegar ao resultado deste parâmetro foi preciso adicionar um novo campo na Tabela de Atributos para calcular o



comprimento da drenagem, por meio do *Calculate Geometry*. Posteriormente, foi feito a divisão do comprimento pela área de contribuição: $Dd = \frac{C}{A}$;

- Índice de circularidade (Ic): para chegar ao resultado, primeiramente foram adicionados novos campos na Tabela de Atributos, como perímetro, raio, área do círculo e área em metros quadrados. O perímetro foi calculado através da ferramenta *Calculate Geometry*, em metros quadrados. Para chegar ao valor do raio foi utilizado o *Field Calculator* no qual foi feita a seguinte equação: $\frac{\text{Perímetro}}{6,28}$

A área do círculo também foi encontrada através do *Field Calculator*, por meio da fórmula $3,14 \times (\text{raio} \times \text{raio})$. A área em metros quadrados foi obtida pelo *Calculate Geometry*. Por fim, criou-se um campo na Tabela de Atributos, Índice de Circularidade, chegando ao seu resultado por meio do *Field Calculator*: $Ic = \frac{\text{área } m^2}{\text{área círculo}}$

- Índice de sinuosidade (Is): o primeiro passo deste parâmetro foi transformar os rios em retas, para isso, foi utilizada a ferramenta *Simplify Line*. O Input foi preenchido com o *shapefile* da drenagem e o *Simplification Tolerance* foi preenchido com o valor de 1000 metros. Após, na Tabela de Atributos, em um novo campo, foi calculado o comprimento dos rios retos em quilômetros. Por fim, foi criado mais um campo, índice de sinuosidade, e através do *Field Calculator* chegou-se ao seu valor: $\frac{\text{nucomptrec}}{\text{comp. rio reto}}$. É importante destacar que o NUCOMPTREC é o comprimento do canal.

- Relação de relevo (Rr): este parâmetro foi o mais trabalhoso, para chegar ao seu resultado, foi necessário calcular a amplitude, e para tal, foi preciso ser feito os cálculos um a um, para cada sub-bacia, isto é, aproximadamente 3000 cálculos feitos a mão para todo o município. Depois, converteu-se o comprimento dos rios para metros e fez-se a divisão pelo *Field Calculator* para chegar ao resultado:

$$\frac{\text{Amplitude}}{\text{Comprimento do rio}}$$

Posteriormente, os valores foram normalizados para comparação de grandeza e elaboração de um índice geral. Os parâmetros e índices foram somados e padronizados em uma escala de 1 a 3, em que 1 é baixa suscetibilidade; 2, média suscetibilidade e; 3, alta suscetibilidade a inundações. Após, gerou-se o modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND), com base nas especificações físicas da área de estudo, pois este, é



capaz de indicar onde uma cheia pode ocorrer, caso tenha água em excesso na superfície, indicando as áreas suscetíveis a inundações através dos desníveis topográficos e a proximidade com os rios (SPECKHANN et al. 2018; TENG et al., 2017), o que permitiu as atribuições das classes. Os dados obtidos nas etapas anteriores foram cruzados, por meio de álgebra booleana, gerando uma matriz.

Por fim, para a análise da influência humana, foi realizada pesquisa documental em distintos autores e, trabalho de campo, o que permitiu a exemplificação da pesquisa.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os desastres são eventos naturais e/ou intensificados pela ação humana, atingindo e causando efeitos, danos e prejuízos, seja econômico, social ou ambiental. É importante mencionar que desastre é a perda, e o risco, a probabilidade da perda. No entanto, as ações humanas intensificam tais fenômenos podendo causar desequilíbrio ambiental, devido ao crescimento urbano desencadeando em moradias em áreas de ocupações ilegais ou impróprias, aumentando o risco e o perigo (TOMINAGA, 2015).

Desastres também são influenciados por características regionais, por exemplo, relevo, tipos de rochas presentes, vegetação e condições meteorológicas, sendo resultado do impacto de um fenômeno natural sobre um ecossistema suscetível. Contudo, quando atinge um sistema social, gerando danos e prejuízos, são chamados de desastres naturais (KOBİYAMA *et al.*, 2006).

O meio natural responde através dos fenômenos naturais a fim de encontrar um novo equilíbrio. Porém, há também, os fenômenos que o homem pode desencadear, como os movimentos de massa, inundações, desmatamento, impermeabilização e adensamento de áreas urbanas, acúmulo de lixo, ocupação de áreas com declividades acentuadas, com intervenções de cortes e aterros, ocupação em margens de cursos d'água, entre outros.

Segundo Keller e Blodget (2004), as inundações são processos naturais em que o rio transborda o canal. O transbordamento, normalmente, está associado aos altos índices pluviométricos, a distribuição da precipitação na drenagem, a velocidade com que a água levará para atingir o solo e a rapidez do escorregamento superficial. Além disso, a umidade do solo é um fator importante pois quando o solo se encontra saturado, não consegue absorver mais umidade. Por conseguinte, caso ocorra precipitação, resultará em inundação.

Os rios são sistemas dinâmicos capazes de modificarem o seu regime conforme o acúmulo de água e a deposição de sedimentos dentro do sistema. Dessa forma, os sistemas fluviais, conforme o tempo e a sua distribuição espacial, são capazes de remodelar a superfície, como os fundos de vales. Além disso, os rios, os seus fluxos e suas dimensões podem sofrer alterações conforme a evolução de processos geomorfológicos, isto é, a evolução das formas de relevo.

A planície de inundação é o compartimento geomorfológico afetado pelas inundações, estas, são sistemas físico-naturais formadas por diversos materiais que são depositados com a ocorrência dos ciclos de inundação (STEVAUX E LATRUBESSE, 2017). No entanto, as inundações não ocorrem apenas nestas áreas, pois existem distintas classes de suscetibilidade numa mesma localidade (BITAR et al., 2014). Logo, são estabelecidas correlações com as feições geomorfológicas.

Suscetibilidade é a possibilidade de ser atingido por um fenômeno natural e/ou antrópico, sendo distinta da probabilidade pois depende da distribuição espacial com dimensão de probabilidade em decorrência da incerteza da ocorrência (LOURENÇO e AMARO, 2018). Logo, as áreas com alta suscetibilidade a inundações correspondem as planícies aluviais; média suscetibilidade aos baixos terraços fluviais; e a baixa suscetibilidade aos altos terraços fluviais (FIGURA 1).

Figura 1 – Classes de Suscetibilidade.



Fonte: elaboração própria, baseado em BITAR et al. (2014), p. 22.

De acordo com Press et al. (2006), as forças impulsionadoras das inundações são determinadas pela variação de vazão, isto é, quando se tem o aumento da vazão de um canal, tem-se, conseqüentemente, ganho de velocidade do fluxo, logo, a água, de forma gradual, preenche todo o canal, podendo chegar ao seu transbordamento.



Os condicionantes das inundações, podem ser definidos, com base em Amaral e Ribeiro (2009), como as formas de relevo, características da drenagem da bacia hidrográfica, intensidade, quantidade, distribuição e frequências das chuvas, características do solo, teor de umidade e cobertura vegetal. E, como dito anteriormente, há também a potencialização das inundações por causa da intervenção antrópica, como a impermeabilização do solo, retificação, desvios e canalização dos canais, entre outros.

O estabelecimento de ocupação urbana nas vertentes promove a impermeabilização do solo e a diminuição da rugosidade dos terrenos. Por essas razões, a velocidade de escoamento de água das altas e médias vertentes para as áreas de várzea é aumentada (AMARAL e RIBEIRO, 2009). Devido a diminuição da quantidade de água que percola nas vertentes impermeabilizadas, maior será o volume que escoar superficialmente para as porções mais baixas do relevo. Em eventos de precipitação de elevados volumes de chuva, as inundações tendem a ocorrer abruptamente e, quando a precipitação cessa, a água tende a escoar rapidamente pelos canais (AMARAL e RIBEIRO, 2009).

Os fatores que contribuem para os danos das inundações são: o uso do terreno nas áreas de várzea do rio, profundidade e velocidade das águas, ritmo de subida e duração, estação do ano, quantidade e tipo de sedimento depositado, e eficácia de previsão, alerta e evacuação (KELLER e BLODGET, 2004).

As inundações causam diferentes efeitos, classificados em direto e indiretos. O primeiro, tem-se lesões e perdas de vidas; prejuízos econômicos; e prejuízos ambientais. Em contrapartida, os efeitos indiretos incluem contaminação de rios, transbordamento de tanques de estações de tratamento de esgoto, entre outros. É importante destacar que esses efeitos são influenciados pelo uso e ocupação das terras; profundidade e velocidade da água; época do ano de ocorrência; quantidade e tipo de sedimentos; e previsão, aviso e resposta dos órgãos responsáveis.

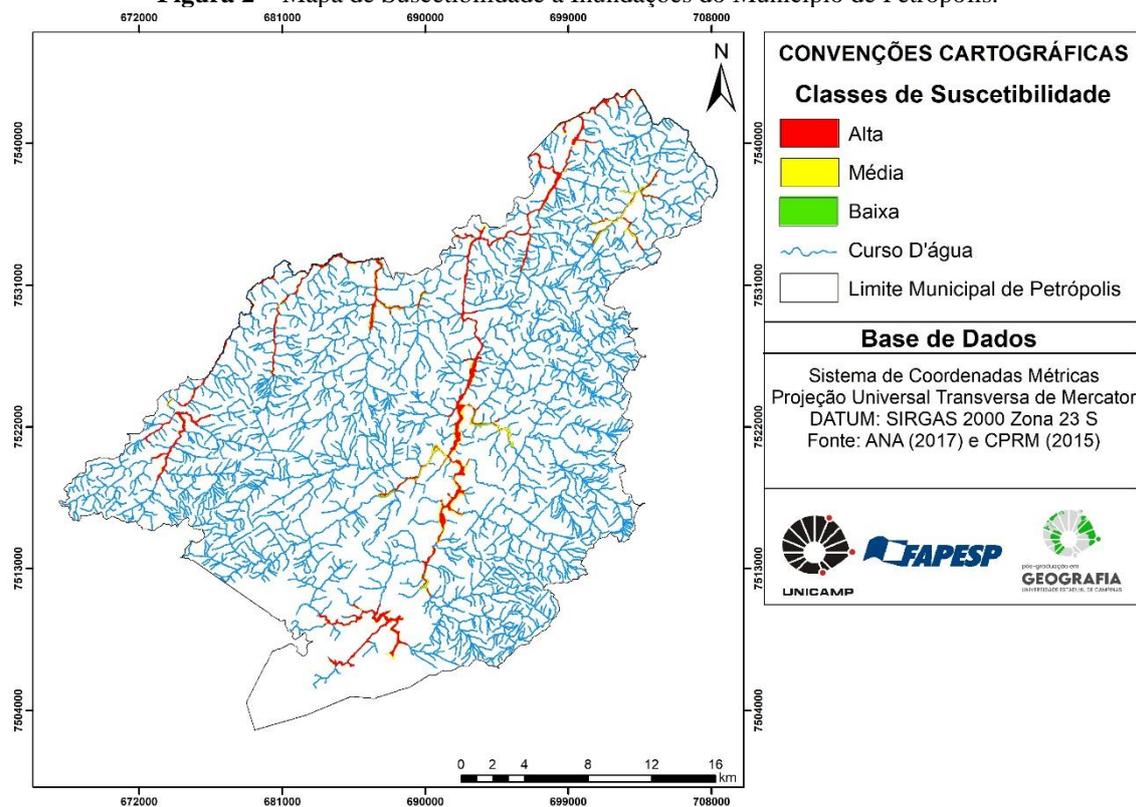
Por fim, para Botelho (2011), um dos maiores agravantes das inundações são as obstruções locais como bueiros e bocas de lobo, pois servem para o escoamento com maior rapidez das águas das chuvas nas cidades.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrópolis está localizada entre os alinhamentos serranos, caracterizando-se como um vale pouco desenvolvido, numa zona rígida com material pouco coeso e duro, conseqüentemente, a água não teve potencialidade suficiente para uma escavação horizontal, para que esse vale fosse aberto. Abaixo, é possível visualizar o Mapa de Suscetibilidade a inundações do município (FIGURA 2).

Figura 2 – Mapa de Suscetibilidade a Inundações do Município de Petrópolis.



Fonte: ANA (2017) e CPRM (2015).

Constatou-se que não há padrão de drenagem na área estudada pois há mudanças em decorrência do controle estrutural assim como o litológico. A partir do momento que a drenagem ocupa fragilidades litológicas, ela tende a espriar, formando vales, terraços e zonas deposicionais. Em outros momentos, a drenagem não tem potencialidade de espriamento porque a área é muito rígida, tendo maior potencialidade de evolução vertical, havendo maior hidráulica da drenagem, um volume maior aprofundando os vales sem ter de maneira clara a evolução dos limites fluviais definidos pela planície fluvial e terraços. Essa discordância topográfica é regida em função dos dois fatores: estrutura e litologia.



Há também a formação de seixos que entulham no fundo dos vales e a água vai arredondando esses blocos, definido pelo avanço da drenagem e pela vertente quando o material é despreendido e cai no canal de drenagem, por conseguinte, a dinâmica do talvegue é alterada de forma contínua e irregular porque conforme chega mais energia, o limite é alterado e assim como a potencialidade de retirada desse material, ocorrendo também o aprofundamento.

Petrópolis evoluiu e evolui por processos gravitacionais havendo diversas incisões antrópicas ao longo do alinhamento serrano, algumas dissipando a energia do fluxo, retardando o tempo de chegada da água e outras impedindo o despreendimento do material. É uma zona que apresenta riscos porque está em franco processo de evolução, apesar da vegetação exercer um controle no sistema mas isso, não anula o processo, trazendo um equilíbrio ao ritmo de evolução desse sistema, a partir da morfodinâmica que é a dinâmica natural de evolução da forma em que diferentes fatores e elementos que se interagem na evolução do sistema.

Outro aspecto importante, que precisa ser considerado é a realidade da ocupação das áreas inundáveis. Sabe-se que Petrópolis têm sido inadequadamente ocupada, não obstante como consequência áreas estão sendo degradadas o que auxilia no agravamento das inundações. O aumento das ocorrências também é dado por causa da urbanização desenfreada, refletindo na geomorfologia local.

A cidade se estabeleceu na zona central e com o crescimento urbano desenfreado, teve-se pouca alternativa, logo, a população subiu para as zonas dos morros, não havendo espaço físico que comportasse a cidade, propiciando o aumento dos desastres na região. São desencadeados diversos problemas em grande parte pela pluviosidade pois como se sabe, Petrópolis está em uma zona de altos índices pluviométricos.

A ocupação seguiu e segue um fluxo, ela saiu da zona de fundo de vale, ocupando as médias vertentes, tendendo a ocupação das zonas mais sinuosas e de maiores declives. Parte dessas localidades estão em áreas ilegais porque está na zona da unidade da Serra do Mar - Parque Estadual da Serra do Mar.

No município, é comum a ocorrência de inundações em ruas situadas nas porções mais baixas do relevo, em função da ocupação das vertentes e das áreas de inundação dos rios pois a ocupação das áreas de várzea segue o modelo europeu de uso e ocupação do solo (ASSUPÇÃO, 2015), isto é, próximo aos canais dos rios e subindo para as baixas e médias vertentes. Por exemplo, tem-se intervenções realizadas, como a construção de



pontes (FIGURA 3), devido ao crescimento populacional da cidade, o seu desenvolvimento econômico e a dificuldade de mobilidade urbana, resultando na diminuição da largura dos rios e a sua retilinização, conseqüentemente, tem-se o aumento das inundações.

Figura 3 – Foto da ponte próximo ao Palácio de Cristal, Petrópolis-RJ.



Fonte: acervo pessoal. Foto realizada em julho de 2018.

O crescimento demográfico desenfreado, o aumento do escoamento superficial e da impermeabilização do solo por causa da pavimentação e a canalização de rios resultam na ocorrência das inundações no município. Por exemplo, Petrópolis ocupou toda a zona de fundo de vale intensificando o processo de impermeabilização apesar de existir uma relação de uso muito antiga/histórica, como a preservação dos paralelepípedos que minimizam os efeitos das inundações porque tem-se uma zona permeável. Porém, em diversas áreas do município, há a sobreposição do asfalto sobre o paralelepípedo, causando a impermeabilização. Em função disso e da relação topográfica - escoamento superficial intenso -, essas áreas sofrem um processo de inundação bastante severo (FIGURAS 4 E 5).

Figura 4 – R. Coronel Veiga após fortes chuvas ocorridas no dia 28 de março de 2014.



Fonte: O Globo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2014/03/rio-quitandinha-transborda-na-coronel-veiga-em-petropolis-no-rj.html>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Figura 5 – Ônibus arrastado de vido as fortes chuvas do dia 03 de março de 2018.



Fonte: O Globo. Disponível em: < <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/onibus-e-arrastado-para-dentro-de-rio-e-bate-em-estrutura-de-ponte-durante-chuva-na-serra-do-rj-video.ghtml>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

Como abordado anteriormente, as inundações são ameaças naturais, e que conforme sua frequência e potencialidade podem causar diferentes danos, porém, são fortemente influenciados pela ação humana, como por exemplo, ocupações em áreas irregulares, como as margens dos rios (FIGUTA 6).

Figura 6 – Construções nas margens do rio, Petrópolis-RJ.



Fonte: acervo pessoal (fev./2021).

As inundações afetam a toda população, independentemente da classe social. Entretanto, na prática, a ocupação das áreas suscetíveis as inundações (FIGURAS 7 E 8), ocorre, principalmente, por populações carentes de maiores recursos, sem condições financeiras para buscarem áreas regulamentadas e com maior segurança e integridade. Dessa forma, a ocupação da área que naturalmente compõe uma zona que deveria ser conservada, tem-se resultados desastrosos, pois são as primeiras a serem atingidas (DE CARVALHO, 2015).

Figura 7 – Construção na margem do rio.



Fonte: acervo pessoal (fev./2021).

Figura 8 – População ocupando margem do rio.



Fonte: acervo pessoal (fev./2021).

Na Figura 7, é importante destacar as formas que a população encontra para tentar sobreviver em meio ao risco, como a utilização de pneus para a proteção das colunas da habitação, contra um possível aumento das águas do rio.

Deste modo, os fatores que contribuem para os danos das inundações são: o uso do terreno nas áreas de várzea do rio, profundidade e velocidade das águas, ritmo de subida e duração, estação do ano, quantidade e tipo de sedimento depositado, e eficácia de previsão, alerta e evacuação (KELLER e BLODGET, 2004).

Por fim, é importante mencionar que de acordo com Tominaga (2015), por conta do aquecimento global, cada vez mais tem-se a ocorrência de eventos extremos, que no caso de Petrópolis são as intensas chuvas, o que resulta no aumento dos desastres naturais nesta região.

As inundações poderiam ser amenizadas pelo aprofundamento do talvegue, porém, por conta da constituição geológica, torna-se um problema, pois o talvegue é constituído por rochas cristalinas, e não apenas sedimentos ou rochas mais friáveis.

As medidas estruturais e não estruturais que podem ser tomadas para reduzir o tempo em que a água chega no fundo de vale é a criação de degraus que acompanhem as curvas de níveis a fim de diminuir o tempo e a energia, porém, por conta das construções



urbanas, outras medidas seriam as construções de diques, vegetação nas vertentes, construção de cisternas, criação de zonas para aumentar a permeabilidade do sistema de maneira coordenada para que sejam definidas áreas chaves para que o sistema consiga segurar a água e para que não ocorra deslizamentos. Além da educação ambiental e conscientização da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No município, os fenômenos naturais que atingem a região são oriundos da dinâmica externa do planeta que resultam nos desastres: escorregamentos de encostas e inundações. Tais eventos estão associados a grande quantidade de chuvas, principalmente no verão.

Petrópolis se caracteriza como uma zona instável pois a forma ainda está em evolução, com resposta imediata do sistema, o nível de resiliência/funcionamento, afetando o equilíbrio e o impacto.

Salienta-se que é importante o trabalho de educação ambiental da população, para que haja conservação, evitando as ocupações em áreas impróprias, além da criação ou melhoramento da gestão de risco para auxiliar na fiscalização, nas mitigações e prevenções dos riscos.

Portanto, para reduzir o perigo das inundações, conforme Keller e Blodget (2004), é necessário identificar as zonas em que são suscetíveis, planejar possíveis soluções e auxílio para a população exposta ao risco, fiscalizar as construções, advertindo as pessoas sobre o risco eminente e tentar controlar a ocupação das áreas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento ao Projeto nº 2019/24229-3.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul nas escalas 1:25.000/50.000**. 2017.



AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. **Inundação e Enchentes**. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. *Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir*. Instituto Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1ª edição, 2009.

BITAR, O. Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1: 25.000: Nota Técnica Explicativa**. IPT; CPRM, 2014.

BRAUCH, H. G. Threats, challenges, vulnerabilities and risks in environmental and human security. **SOURCE 'Studies of the University: Research, Counsel, Education'**, Publication Series of UNU-EHS, Bonn, Germany, n. 1, p. 16, 2005.

CARDONA, O. D. **Indicators of Disaster Risk and Risk Management**. Instituto de Estudios Ambientales - IDEA & Inter-American Development Bank - IDB. Universidad Nacional de Colombia. Manizales - Colombia, p. 18-23. 2005.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2015.

DE CARVALHO, D. W. **Desastres ambientais e sua regulação jurídica: deveres de prevenção, resposta e compensação ambiental**. Thomson Reuters Revista dos Tribunais, 2015. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-647-646-20100903160334.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2021.

DILLEY, M.R.S.; CHEN, B.; DEICHMANN, U.; LERNER-LAM, A.; ARNOLD, M. **Natural disaster hotspots: a global risk analysis**. Washington, D. C., World Bank Publications, n. 5, p. 17, 2005.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins : hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

KELLER, E. A. BLODGET, R. H. Inundaciones. In: KELLER, E. A. BLODGET, R. H. **Riesgos naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes**. Pearson Educación, S. A. Madrid, 2004. pp. 108-147.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; EDSON F. GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais - Conceitos básico**. Editora Organic Trading. Curitiba, Paraná, 1ª edição, 2006. Disponível em: <[http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20\(Prevencao%20de%20Desastres%20Naturais\).pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Livro%20(Prevencao%20de%20Desastres%20Naturais).pdf)>. Acesso em: 06 out. 2021.

LOURENÇO, Luciano; AMARO, António. **Riscos e Crises: da teoria à plena manifestação**. Imprensa da Universidade de Coimbra/Coimbra University Press, 2018.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee**. New York: Department of Geology, Columbia University, 1953. 51 p.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Ed. Bookman, Porto Alegre. 2006.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089- 1100, 1963.

SPECKHANN, G. A. et al. Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and the HAND model. **Hydrological Sciences Journal**, [s. 1.], v. 63, n. 1, p. 87-100, 2018.



Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2017.1409896>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

TENG, J. et al. **Flood inundation modelling**: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis, 2017.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (orgs). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. Secretária do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto Geológico, 1o edição, 2009. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2017.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que ocorrem?. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais**: conhecer para prevenir. 3a ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015. pp. 11-24.

SANTOS, W.; VIEIRA, B. C. **Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP)**. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa, MG: UFV, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/238753103_INFLUENCIA_DE_FATORES_TOPOGRAFICOS_NA_DISTRIBUICAO_DE_ESCORREGAMENTOS_TRANSLACIONAIS_RASOS_NA_SERRA_DO_MAR_CUBATAO_SP>. Acesso em: 07 mar. 2021.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR). Disponível em: <<http://www.preventionweb.net/search/pw#query=susceptibility&hits=20&sortby=default&view=pw>>. Acesso em: 09 nov. 2017.