



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Diagnóstico de Vulnerabilidade Socioambiental em Áreas Urbanas Utilizando Inteligência Geográfica

Gabriela de Azevedo Reis<sup>1</sup>, Antonio Júnior Alves Ribeiro<sup>2</sup>, Carlos Augusto Uchôa da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, R. Cinco, 100 - Pres. Kennedy, Fortaleza - CE, 60355-636, Fortaleza, Ceará. (85) 98199-0749, E-mail: [gabrielareisazevedo@gmail.com](mailto:gabrielareisazevedo@gmail.com). <sup>2</sup> Professor do Curso de Engenharia Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Juazeiro do Norte, Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1646 - Planalto, CEP 63040-540, Juazeiro do Norte, Ceará. (85) 8703-2481 E-mail: [ajar.junior@gmail.com](mailto:ajar.junior@gmail.com). <sup>3</sup> Professor do Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, R. Cinco, 100 - Pres. Kennedy, Fortaleza - CE, 60355-636, Fortaleza, Ceará. (85) 99999-9933. E-mail: [uchoa@det.ufc.br](mailto:uchoa@det.ufc.br).

Artigo recebido em 06/06/2019 e aceito em 18/01/2020

### RESUMO

Os impactos causados por desastres naturais podem ser minimizados ao identificar populações em situação de vulnerabilidade. Para contribuir com o planejamento territorial e reduzir tais impactos, este trabalho analisa metodologias para identificação espacial da vulnerabilidade socioambiental. Foi estudada a bacia do rio Mané Dendê, em Salvador, caracterizada pelo alto adensamento populacional e concentração da população de baixa renda, com ocorrências de ocupações irregulares. Para a geração dos produtos foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, identificando espacialmente as áreas de risco e as populações em situação de vulnerabilidade e representá-las graficamente, obtendo mapas temáticos como resultado. O mapa de vulnerabilidade ambiental foi gerado ao identificar áreas de risco de deslizamento de terra e inundação. Foi determinado um Índice de Vulnerabilidade Social baseado no censo demográfico do IBGE, gerando o mapa de vulnerabilidade social. O mapa de vulnerabilidade socioambiental foi gerado por álgebra de mapas. A metodologia de obtenção da vulnerabilidade social foi considerada satisfatória e segue os padrões adotados em trabalhos aplicados no Brasil e internacionalmente. É recomendado que seja aprofundada uma análise dos critérios de vulnerabilidade ambiental, para que o resultado possa representar uma ferramenta mais segura para a tomada de decisão.

Palavras-chave : geoprocessamento, zoneamento, vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade social.

## Social-Environmental Vulnerability Diagnosis in Urban Areas Using Geomatics

### ABSTRACT

The impacts caused by natural disasters can be minimized by identifying populations in situations of social vulnerability. Aiming to contribute with land-use planning and to reduce such impacts caused by these natural disasters in urban centers, this project proposes a methodology to for spatial identification of social and environmental vulnerability. The method was applied in Mané Dendê River's basin, at Salvador, Bahia. This study area is characterized by its high population density and great concentration of low income population, with high occurrence of irregular settlements. It was used geoprocessing techniques to identify the areas and the population that are vulnerable and graphically represent them through the generation of thematic maps. The environmental vulnerability map was generated through identifying the areas with risk of landslide and floods. It was determined a Social Vulnerability Index based on the 2010 census database published by the Brazilian Institute of Geography and Statistics. Then, it was generated the social vulnerability map. The social and environmental vulnerability map was made by applying the map algebra technique. The social vulnerability method was considered satisfactory once it follows the pattern adopted by similar works, applied in Brazil and around the world. However, it is recommended for future works a deeper analysis of the criteria used to obtain the environmental vulnerability map so that the final result will be able to represent a reliable tool for the decision making in the scope of territorial management planning.

Keywords: geoprocessing, zoning, social vulnerability, environmental vulnerability.

## Introdução

De acordo com o censo do IBGE (2010), acima de 80% da população brasileira reside em áreas urbanas. A pressão exercida pela expansão populacional das cidades resulta em uma marginalização da parcela mais carente da população, que acaba se assentando em áreas que ainda não estão ocupadas por não oferecerem infraestrutura urbana ou não apresentarem características geomorfológicas adequadas (Plate, 2002).

Essas regiões, muitas vezes, se constituem como margens de corpos hídricos, mangues, dunas, e até encostas com acentuada declividade. Além de gerar grandes impactos ambientais em áreas que são nacionalmente protegidas, ocupações indevidas deixam a população vulnerável aos fatores externos e em situações de risco de desastres naturais, como inundações e deslizamentos de terra (Medeiros, 2014).

Identificar áreas susceptíveis aos desastres naturais e restringir a ocupação urbana nessas localidades, tal como identificar populações que já se encontram em situação de vulnerabilidade, a fim de realocá-los para uma área segura, são funções de um planejamento territorial, e podem reduzir em grande escala os danos causados por fenômenos naturais (Hydnman e Hydnman, 2011).

Segundo Kobiyama et al. (2006), mesmo que não seja possível evitar a ocorrência de desastres naturais, pode-se minimizar os impactos causados. Para os autores, um dos métodos de prevenção de desastres naturais é o zoneamento, que consiste em mapear as áreas de risco, considerando variáveis biofísicas e sociais, a fim de identificar a localização do espaço povoado e das áreas consideradas de risco.

Este estudo se dedica, portanto, ao desenvolvimento de mapas de vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas, a partir do uso de técnicas de geoprocessamento, seguindo metodologias apresentadas por Alves (2013) e Medeiros (2014).

Pretende-se gerar resultados que sejam capazes de auxiliar na tomada de decisão, facilitando a assistência às populações vulneráveis e em situação de risco, podendo, assim, minimizar impactos sociais e ambientais causados por eventuais desastres, sendo estes deslizamentos de terra e inundações.

Para o desenvolvimento deste trabalho, escolheu-se como área de estudo a região que engloba a bacia do Rio Mané Dendê, situada no Subúrbio Ferroviário da cidade de Salvador, que é uma das maiores e mais densas cidades do Brasil. Esta escolha justifica-se pelas características físicas e sociais da área, além das oportunidades atuais de melhorias a partir de investimentos da Prefeitura de Salvador.

## Desastres naturais

Segundo Marcelino (2008), desastres naturais representam os impactos causados por um fenômeno natural de potencial danoso, quando este provoca sérios danos e prejuízos à população atingida.

O tipo de dano consequente de um desastre também depende do desenvolvimento socioeconômico da região. Países em desenvolvimento, como o Brasil, enfrentam um crescente número de pessoas que habitam áreas perigosas, como terrenos com declividade elevada ou situados às margens de rios. Em uma situação de urgência, o trabalho de evacuação se torna mais difícil (Hydnman e Hydnman, 2011).

Durante a década de 2000, no Brasil, houve um aumento de 73% nas ocorrências registradas de desastres naturais em relação à década anterior. As ocorrências de movimentos de massa foram as que tiveram um aumento mais expressivo, e, entre os anos de 1991 e 2010, foram, ao lado das inundações, as maiores causadoras de fatalidades.

A região nordeste lidera, dentre as regiões brasileiras, o ranking do número de afetados por desastres naturais, e, para o número de mortos, perde apenas para a região sudeste. Os estados da Bahia, Piauí e Paraíba são, nesta mesma ordem, os estados mais afetados na região nordeste (UFSC, 2012).

Deslizamento de terra é caracterizado como todo e qualquer movimento coletivo de massa e materiais da encosta, movidos pela força da gravidade (Guidicini e Nieble, 1983; Selby, 1993).

Estes fenômenos naturais são essenciais para a evolução de paisagens e relevos, embora o deslizamento de uma grande quantidade de material pode vir a desencadear um desastre natural, caso haja população na área afetada e, mesmo que de causa natural, podem ser agravados por ações antrópicas indevidas, especialmente por ocupações

desordenadas em encostas íngremes (Kobiyama et al., 2006).

Como exemplo, pode ser citado os deslizamentos ocorridos no Maciço da Tijuca, os quais aconteceram em favelas, que ocupavam uma área de apenas 4,6% do maciço (Fernandes, Lagüens e Netto (1999).

Já as inundações são caracterizadas pelo aumento do nível dos rios, para além da sua normalidade, com conseqüente transbordamento de águas (Kobiyama et al., 2006). Popularmente, se confunde este conceito com enchente, que é definida apenas pela elevação do nível de água do rio, mas sem ocorrer o extravasamento (Tominaga, Amaral e Santoro, 2009).

A frequência com que ocorrem as inundações tem crescido, podendo isto estar associado ao aumento de habitações em planícies de inundação. Simões et al. (2012), mostram que a mudança na paisagem e o processo de urbanização aumentaram os riscos de inundação na Av. Cristiano Machado, em Belo Horizonte, principalmente para habitações que são de baixa renda.

## Riscos

A palavra “risco” pode ser interpretada como um perigo em potencial quanto como a percepção de uma situação perigosa, onde o indivíduo está situado ou simplesmente pode sentir os efeitos. Já perigo pode entendido como um fenômeno natural com potencial danoso que acontece na biosfera, em épocas e regiões conhecidas. Para que possa ser levando em consideração em um plano de gestão de políticas públicas, o risco deve ser tal que seja possível prever.

Caso contrário, a noção de risco vira apenas incerteza. Se o acontecimento é totalmente imprevisível e pontual, não se faz necessário ser integrado a uma política de prevenção, como por exemplo, o impacto conseqüente de uma colisão de um meteorito com a Terra. O processo que tenha como característica o potencial de perigo passa a ser considerado risco para a população no momento em que se torna previsível.

A percepção e gestão do risco têm se aperfeiçoado, melhorando as políticas de prevenção, que contam com a cartografia como ferramenta fundamental. Os riscos são frequentemente assinalados em mapas, por meio de zoneamentos,

que são essenciais tanto na tomada de decisão quanto na comunicação com a população, permitindo a objetivação do risco e tornando clara a sua designação como problema público (Veyret, 2007).

## Vulnerabilidade

O conceito de vulnerabilidade evoluiu das ciências sociais e foi introduzido na percepção do risco de desastres a partir da década de 70. Ainda não há um consenso acerca da conceituação do termo.

Para este trabalho, será usada a definição publicada pelo setor de redução de desastres da Organização das Nações Unidas em 2004, que conceitua a vulnerabilidade como sendo um conjunto de condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentem a suscetibilidade de uma comunidade de sofrer impactos conseqüentes de desastres (UN/ISDR, 2004).

Cutter (1996) resume o conceito ao dizer que a vulnerabilidade é o potencial de perda, onde esse potencial é a suscetibilidade de sofrer impactos e a perda é a conseqüência dos impactos sofridos.

A vulnerabilidade pode ser analisada tanto como risco biofísico quanto como uma resposta social, ambos dentro de certo domínio espacial, onde se identifica a localização de pessoas e locais vulneráveis ao risco natural e também quais destas pessoas se enquadram no grupo social de maior vulnerabilidade, sendo possível a integração das duas análises (Cutter, 1996).

Do ponto de vista social, a vulnerabilidade se torna um conceito multidimensional que identifica as características de comunidades que as tornam capazes, ou não, de responder a um, ou se recuperar de um desastre natural (Cutter, Boruff e Shirley, 2003). Além disso, auxilia no entendimento de riscos e perdas em potencial de uma comunidade diante da existência de um desastre (Cutter, 2011).

Para uma análise ambiental, a vulnerabilidade pode ser estudada de acordo com a capacidade de um dado ambiente de resposta frente a perturbações, por meio dos mecanismos internos, de modo a se manter estável mesmo diante de alterações (Tagliani, 2002) e pode-se afirmar que a vulnerabilidade ambiental representa a suscetibilidade de um ambiente diante de um impacto ocasionado por alguma ação antrópica (Santos, 2007).

Dessa forma, a população vulnerável pode ser relacionada com a fragilidade ambiental ao estudar a coexistência espacial entre comunidades com escassez de recursos e precária infraestrutura e áreas de risco ou um meio caracterizado por degradação ambiental (Alves, 2006).

É comum identificar, nas grandes cidades brasileiras, áreas de risco sendo povoadas por populações socialmente vulneráveis (Deschamps, 2004).

### **Material e métodos**

O presente estudo foi realizado a partir de dados georreferenciados e com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Os dados necessários para a execução desta pesquisa foram disponibilizados pelos órgãos competentes. São eles: IBGE, Prefeitura de Salvador e Ministério do Meio Ambiente (MMA). Além destes dados, a empresa Quanta Consultoria Ltda. cedeu gentilmente imagem de satélite da área. A imagem de Satélites WorldView-2 é georreferenciada e datada de junho de 2014, com cobertura de nuvens máxima de 3% e resolução espacial de 50 cm, e apresenta nível de geoprocessamento ortoretificado.

Para o modelo de vulnerabilidade ambiental, foram utilizadas a base altimétrica e hidrográfica da área de estudo e, para o modelo de vulnerabilidade social, foram utilizados os dados do Censo Demográfico do IBGE 2010, com todas as suas variáveis em planilhas no formato .csv.

#### **Aquisição de dados**

A pesquisa e obtenção dos dados foram feitas, em sua grande maioria, através das plataformas online dos devidos órgãos competentes: IBGE e Ministério do Meio Ambiente. A base cartográfica de Salvador, contendo informações fundamentais como as curvas de nível e a hidrografia da cidade, foi cedida pela Prefeitura de Salvador, por intermédio da empresa Quanta Consultoria Ltda. Todos estes dados utilizados foram obtidos em meio digital.

#### **Alimentação do banco de dados**

Os arquivos já em formato shapefile foram inseridos diretamente no QGIS 2.14.2. Vale ressaltar que a base cartográfica foi obtida em formato .dwg e, antes de ser inserida no QGIS, foi feita uma limpeza

de informações não importantes para o objetivo deste trabalho no programa AutoCAD.

O banco de dados do Censo Demográfico do IBGE 2010, com todas as suas variáveis em planilhas no formato .csv, foi adicionado no programa PostgreSQL. As variáveis necessárias para o desenvolvimento do trabalho foram selecionadas e, na sequência, gerou-se um arquivo em formato vetorial (polígonos) do estado da Bahia com as informações das variáveis escolhidas para cada setor censitário do estado. Estas informações são exibidas na tabela de atributos do arquivo.

#### **Manipulação dos dados SIG**

Devido os dados terem sido obtidos de fontes e datas diferentes, os arquivos espaciais possuíam sistemas de referência e de coordenadas diferentes, variando entre SAD 69 (*South American Datum* 1969) e SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Para padronizar as informações, todos os arquivos foram alocados para o sistema de referência SIRGAS 2000, que é o sistema oficialmente adotado no Brasil atualmente, e para o sistema de projeção cartográfica UTM, Fuso 24 Sul.

Após a compatibilização dos sistemas de coordenadas dos dados espaciais, foi realizado um recorte nas malhas vetoriais, através da operação espacial *clip*, de modo que as informações sejam exibidas apenas dentro dos limites da bacia do Rio Mané Dendê.

#### **Geração do mapa de vulnerabilidade ambiental**

A metodologia escolhida para a avaliação da vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Mané Dendê foi aquela usada por Alves (2013), que difere da realizada por Medeiros (2014) por incluir apenas áreas de declividade, margens de rios e manguezais como áreas de risco. Medeiros considera o mapa de sistemas ambientais.

Entretanto, a área da bacia do rio Mané Dendê é cerca de 600 vezes menor que a área de estudo utilizada por Medeiros, que representa o município inteiro de Caucaia, no Ceará. A bacia não tem, portanto, tanta variedade de sistemas ambientais quanto o município de Caucaia, o que resultaria em um mapeamento pouco significativo para a escala desta pesquisa.

O método foi todo realizado utilizando o *software* QGIS 2.14.2 e consiste em delimitar as

áreas de risco de acordo com o grau de declividade e a proximidade dos corpos hídricos, além de incluir áreas de manguezal. A escolha de Alves (2013) foi baseada nas delimitações de Áreas de Preservação Permanente (APP) detalhadas na Lei Federal 12.651/2012 (BRASIL, 2012).

Para obter as informações de declividade da área de estudo, foi gerado o MDE (Modelo Digital de Elevação) a partir das curvas de níveis da base altimétrica, com a criação de uma superfície TIN (*Tirangulated Irregular Network*). Esta superfície é formada de uma grade irregular, constituída de triângulos que são interligados. Cada vértice dos triângulos (pontos) representa um valor de cota altimétrica, além de conter as coordenadas planimétricas.

Foi utilizada a ferramenta *Fill*, dentro do *toolbox* de análise espacial do ArcGIS 9.3, que realiza o preenchimento e remoção de falhas (elevações não contínuas de valores menores ou maiores) no MDE, servindo como uma correção do modelo. O MDE é convertido, então, de superfície TIN para raster. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Slope* para a geração do mapa de declividade, no qual sua classificação foi feita em graus.

Para as áreas de risco, Alves (2013) propõe delimitar quaisquer áreas que possuam declividades superiores a 30 graus, consideradas bastante suscetíveis a processos instáveis e a deslizamentos; e áreas que estejam às margens de até 50 metros de corpos hídricos, sujeitas a inundações e/ou doenças de veiculação hídrica. A bacia analisada no presente estudo não apresenta área de manguezal.

Para a classificação da vulnerabilidade, considerou-se que as áreas identificadas como áreas de risco apresentam vulnerabilidade ambiental. As áreas remanescentes são consideradas áreas livres de vulnerabilidade no que tange o risco de inundação e de deslizamento de terra.

#### *Geração do mapa de vulnerabilidade social*

Para a avaliação da vulnerabilidade social, foi utilizado o método de Medeiros (2014). Que consiste em, através das variáveis do banco de dados do censo demográfico do IBGE de 2010, escolher quinze indicadores, apresentando relação direta ou indireta com a vulnerabilidade social e utilizá-los

para desenvolver um Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para cada setor censitário.

Foram divididos, também, entre 4 dimensões: Habitação e Saneamento, que captam deficiências nos serviços básicos de infraestrutura; Renda, para apreender as condições de distribuição de renda; Educação, a fim de captar situações de precariedade do nível de escolaridade e, por consequência, dificuldades em obter um emprego com maior nível salarial; e, por último, Situação Social, que resgata elementos ligados ao grau de dependência econômica.

Os indicadores apresentados estão em diferentes unidades. Foi necessário, portanto, fazer uma padronização destes valores, considerando valores de 0 (menor vulnerabilidade) a 1 (maior vulnerabilidade). Foram utilizadas as Equações (1) e (2):

$$I_{ps} = \frac{I_s - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (1)$$

$$I_{ps} = \frac{I_s - I_{max}}{I_{min} - I_{max}} \quad (2)$$

Onde a variável  $I_{ps}$  corresponde ao valor padronizado do indicador (I) no setor censitário (s).  $I_s$  equivale ao valor original do indicador (I) no setor censitário (s), e  $I_{max}$  e  $I_{min}$  são, respectivamente, os valor máximo e mínimo do indicador (I) dentro o universo de setores censitários.

Para os indicadores com relação direta com a vulnerabilidade (quanto menor o valor do indicador, mais baixa a vulnerabilidade), foi utilizada a Equação (1). Já para os indicadores com relação indireta com a vulnerabilidade (quanto menor o indicador, maior a vulnerabilidade), foi utilizada a Equação (2). Foi, então, calculado o IVS a partir da Equação (3). Vale ressaltar que a vulnerabilidade social é maior para valores mais próximos de 1.

$$IVS_s = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ps}}{n} \quad (3)$$

Onde  $IVS_s$  equivale ao Índice de Vulnerabilidade Social no setor censitário (s) e a variável  $n$  corresponde ao total de indicadores selecionados.

A classificação da vulnerabilidade social é feita a partir dos resultados obtidos no cálculo do IVS, onde  $\sigma^2$  representa o desvio padrão do IVS e  $M$  representa a média do IVS. A Classe 1, de alta vulnerabilidade, é composta pelos setores no intervalo de  $IVS_s > M + \sigma^2$ . A Classe 2, com vulnerabilidade média-alta, está contida no intervalo  $M + \sigma^2 \geq IVS_s > M$ . A Classe 3, com vulnerabilidade média-baixa, é representada pelo intervalo  $M \geq IVS_s > M - \sigma^2$ . Por fim, a Classe 4, baixa vulnerabilidade, é composta pelos valores dentro do intervalo  $M - \sigma^2 \geq IVS_s$ .

Todo este processo, desde a padronização dos indicadores até a classificação da vulnerabilidade de cada setor censitário, foi feito em planilha do Excel. Os resultados obtidos foram adicionados à tabela de atributos no ArcGIS 9.3 para a geração do mapa de vulnerabilidade social.

#### Geração do mapa de vulnerabilidade socioambiental

Para a confecção do mapa de vulnerabilidade socioambiental, Medeiros (2014) utiliza a técnica de sobreposição de camadas. Dessa forma, é possível representar as duas vulnerabilidades (social e ambiental) e ainda onde elas ocorrem espacialmente, podendo identificar os espaços onde se sobrepõem vulnerabilidades ambiental e social altas.

### Resultados e discussão

#### Caracterização geral

A bacia hidrográfica do rio Mané Dendê está localizada na cidade de Salvador –BA, na região conhecida como Subúrbio Ferroviário. Encontra-se na localização geográfica  $-12^{\circ}52'58,2''S$  -  $38^{\circ}28'28,1''W$  e possui  $2,11 \text{ km}^2$  de área. A Figura 1 mostra a localização da bacia no município de Salvador, destacando sua forma e a área do seu entorno.

A bacia do Mané Dendê foi escolhida em função de apresentar uma grande concentração de ocupação em áreas de risco como encostas, vulneráveis aos deslizamentos, e margens de rios, vulneráveis à inundação e poluição antrópica.

A população assentada nessas condições é, em sua grande maioria, de baixa renda e apresenta várias características socioeconômicas que apontam para uma provável situação de vulnerabilidade social.

Por apresentar essas problemáticas, a bacia do Mané Dendê está inserida em áreas que vêm chamando a atenção dos órgãos públicos para novos investimentos associados à política urbana, que visam melhorar a qualidade de vida dos moradores e requalificar importantes áreas de preservação do ambiental.

A bacia do Mané Dendê está inserida na Região Administrativa do Subúrbio Ferroviário de Salvador - BA. O Subúrbio envolve vinte e dois bairros, onde residem 24,55% da população de Salvador, correspondendo a cerca de 700 mil habitantes. A expansão populacional no Subúrbio se deu com a implantação da ferrovia e construção da Avenida Afrânio Peixoto (também conhecida como Suburbana), atraindo indústria e comércio. A ocupação ocorreu de maneira desordenada, definindo o Subúrbio como um pólo de concentração de população baixa renda e infraestrutura precária.

Consequentemente, a área do Mané Dendê, assim como toda a região do Subúrbio Ferroviário, apresenta grande adensamento populacional, com setores chegando a mais de  $600 \text{ hab/m}^2$ , conforme pode ser analisado na Figura 2. Os intervalos foram definidos pelo método de quebras naturais.

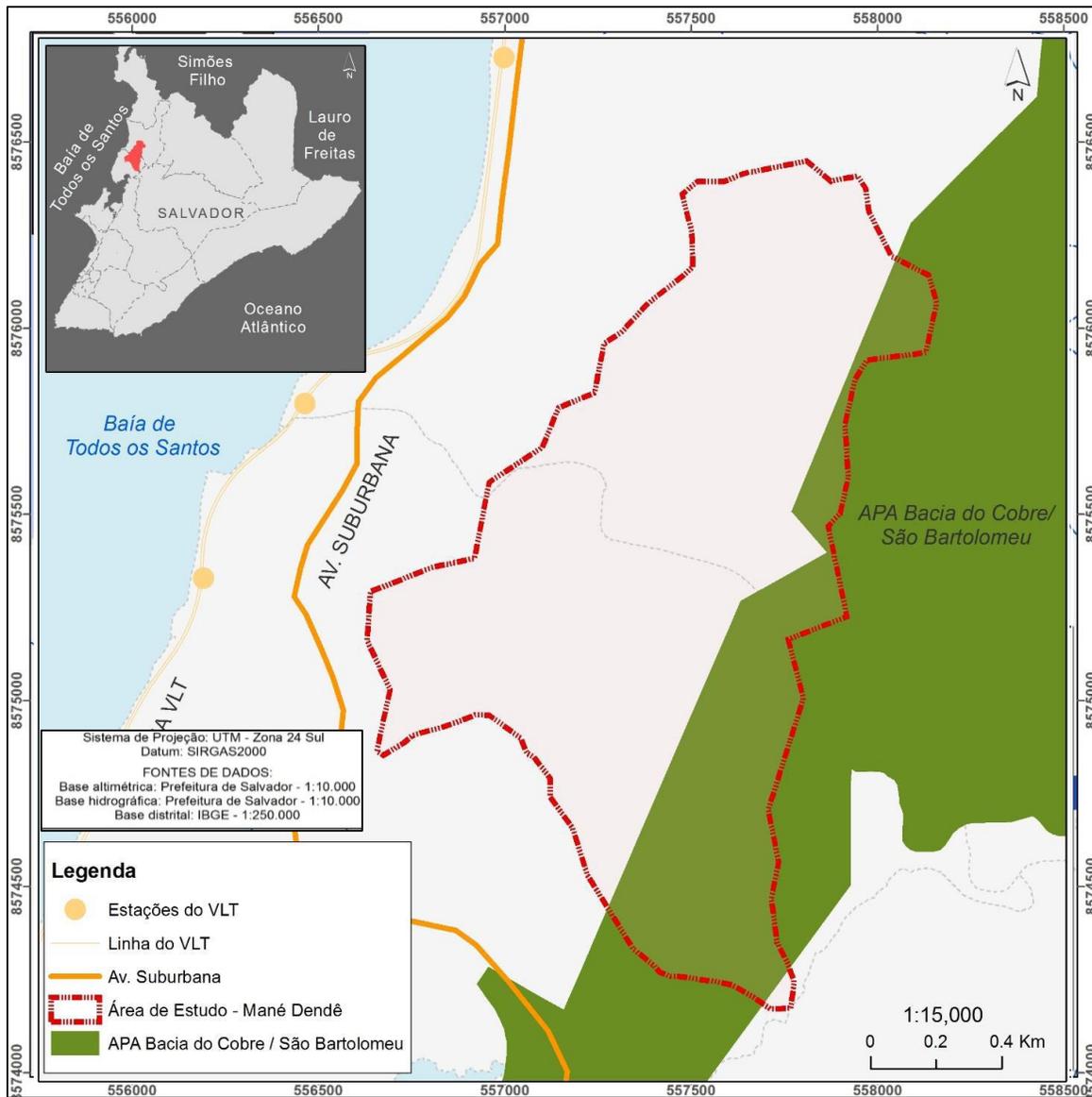


Figura 1. Mapa de localização da bacía do Mané.

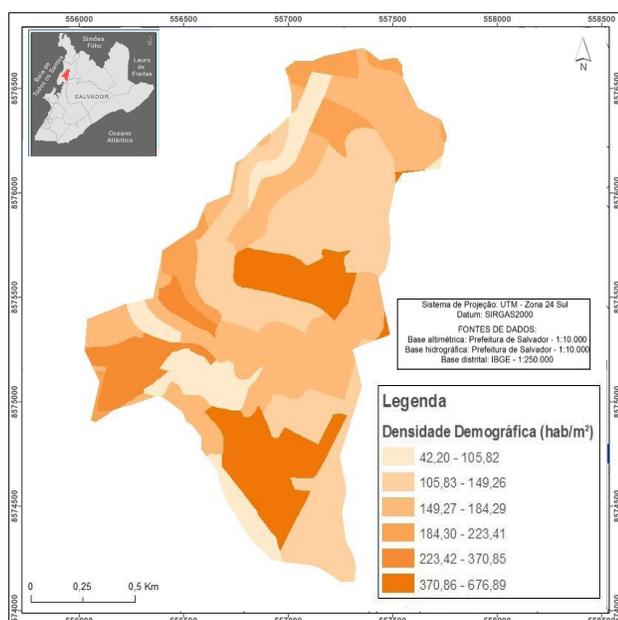


Figura 2. Mapa da densidade populacional na bacia por setor censitário.

A bacia apresenta grande parte dos assentamentos em situação precária (barracos e alvenarias sem reboco, sem ligação de água, esgoto, e energia elétrica). Isso, somado a baixa renda média da população, faz dessa região uma área com vulnerabilidade social.

A Figura 3 exibe a renda média mensal da família por setor censitário. Considerando que o mapa foi elaborado através de dados do Censo Demográfico 2010, o salário mínimo da época equivalia a R\$510,00. Portanto, tem-se que a média máxima na região não chega a três salários mínimos mensais. Em termos de vulnerabilidade social, a renda está diretamente ligada ao potencial de resiliência de uma população atingida por um desastre natural. Populações com baixa renda se tornam mais vulneráveis por possuírem poucas condições financeiras de recuperar, por si só, suas perdas materiais.

Além da grande importância ambiental, a região da bacia do Mané Dendê é de extrema importância histórica, cultural e religiosa, abrigando um grande número de terreiros religiosos. A APA Bacia do Cobre / São Bartolomeu foi palco de lutas históricas como as batalhas do Cabrito e Pirajá e Sabinada, além de ter sido abrigo de diversos quilombos. O Parque de São Bartolomeu, dentro da APA (ver Figura 1), é um santuário de rituais

seculares e, também, a maior referência dos cultos afro-brasileiros do país.

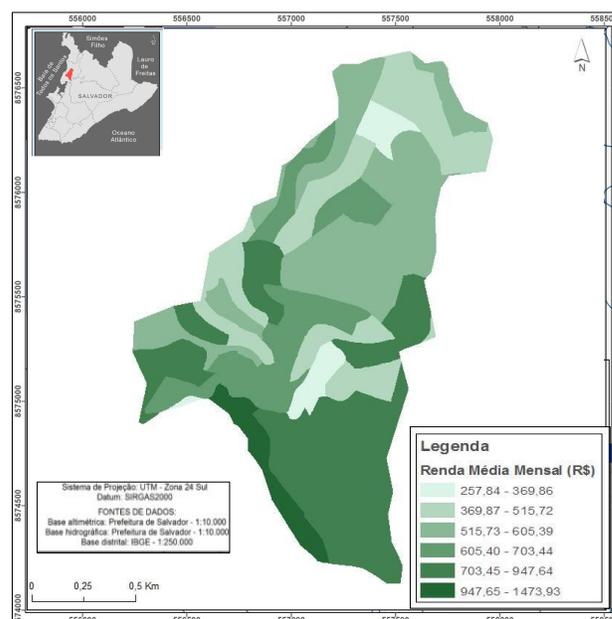


Figura 3. Mapa da renda média mensal de chefe de família por setor censitário.

#### Vulnerabilidade ambiental

A bacia não apresenta elevados graus de declividade ( $>30^\circ$ ), concentrando seus valores entre  $0^\circ$  e  $14^\circ$  e especialmente nos trechos próximos aos corpos hídricos, como apresentado na Figura 4. Apesar de bairros do Subúrbio Ferroviário terem registrado deslizamentos de terra ainda no início deste ano, incluindo no curso da avenida Suburbana.

Dendê apresenta uma área de risco de deslizamento de terra mínima, representando uma parcela ínfima da área total da bacia, equivalente a apenas 0,8% (0,016 km<sup>2</sup>) da área total (2,11 km<sup>2</sup>).

Considerando os desastres noticiados nas proximidades da bacia do Mané Dendê, o modelo de Alves (2013), pode não ser suficiente para determinar a suscetibilidade de deslizamentos de terra por não considerar fatores além da declividade do terreno. Contudo, este foi o modelo aqui adotado, dada a facilidade de uso e a escassez de informações para o uso de outras metodologias como Silveira, Vettorazzi e Valente (2014) que usa avaliação multicritério para mapear a suscetibilidade de deslizamento de terra, levando em consideração o

substrato geológico, solos, declividade do terreno, uso e cobertura do solo e a precipitação.

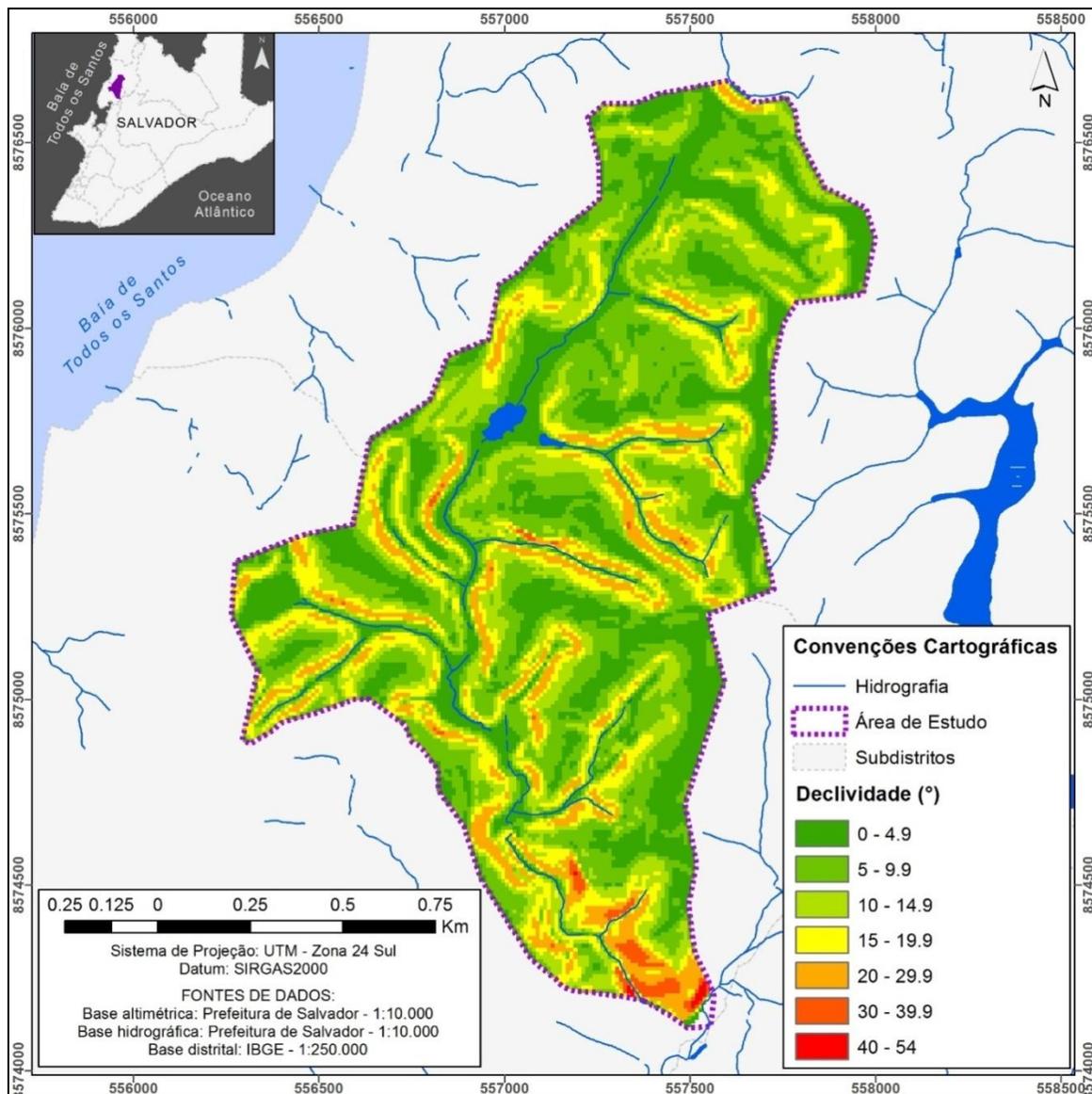


Figura 4 - Mapa de declividade.

As áreas de risco de inundação representam 37% (0,78km<sup>2</sup>) da área total. Esse alto valor ilustra o resultado que já era esperado levando em conta a grande presença de corpos hídricos na área de estudo. É fácil perceber que, pelo método aplicado, o risco de inundação é muito superior ao risco de

deslizamento de terra. Portanto, deve ser tratado como prioridade durante o planejamento territorial. A Figura 5 apresenta o mapa de vulnerabilidade ambiental, exibindo as áreas de risco de deslizamento de terra e inundação.

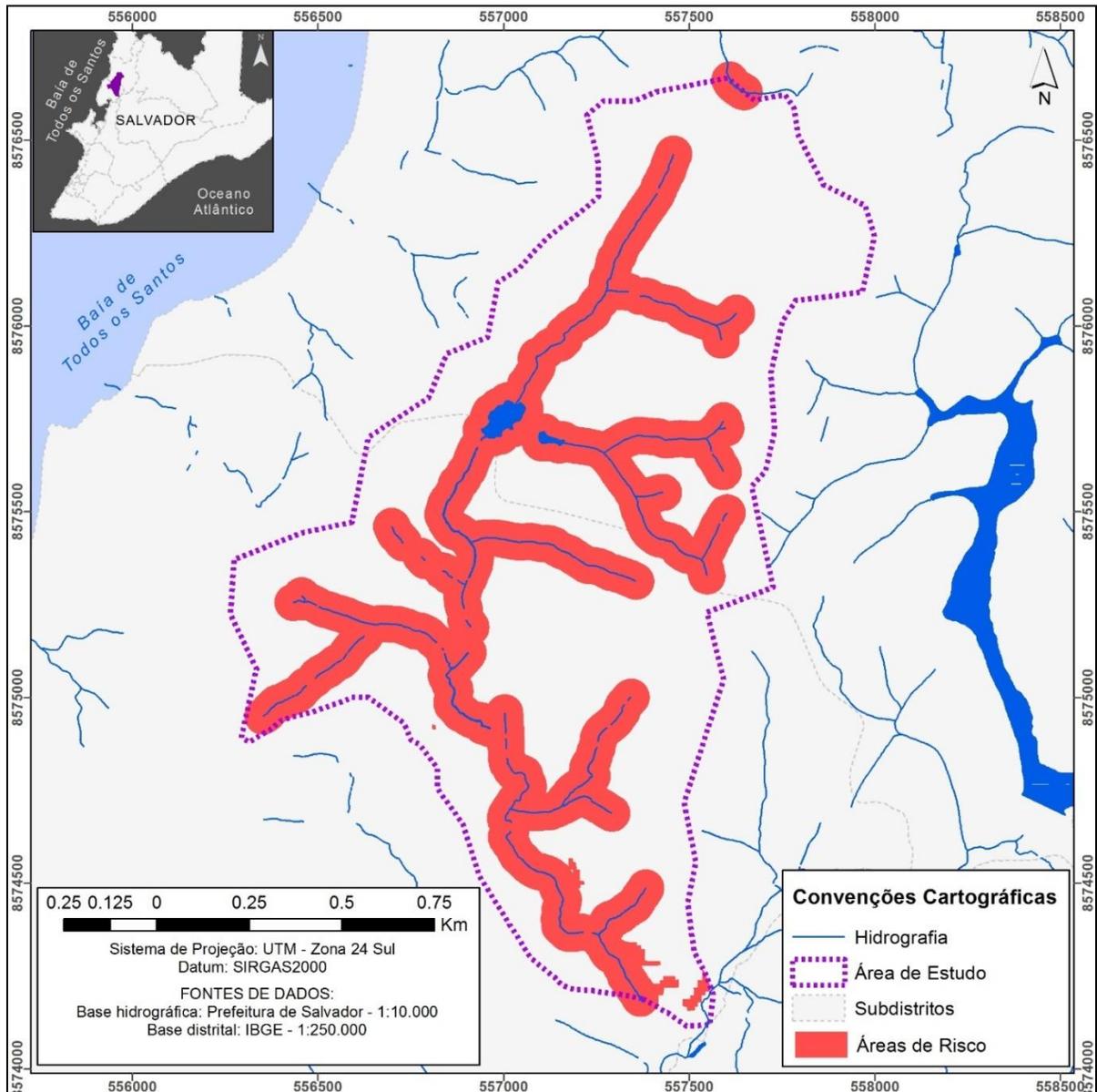


Figura 5. Mapa de vulnerabilidade ambiental.

#### Vulnerabilidade social

O mapa de vulnerabilidade social gerado está ilustrado na Figura 6. É possível notar que os setores censitários classificados com vulnerabilidade social alta ou média-alta estão, em

sua maioria, próximos aos corpos hídricos. Isso demonstra, graficamente, que uma parcela mais carente da população acaba por assentar-se em áreas das cidades que estão, ainda, desocupadas por não apresentarem características ambientais adequadas, como as margens do rio Mané Dendê (Plate, 2002; Medeiros, 2014; Vargas, 2008)

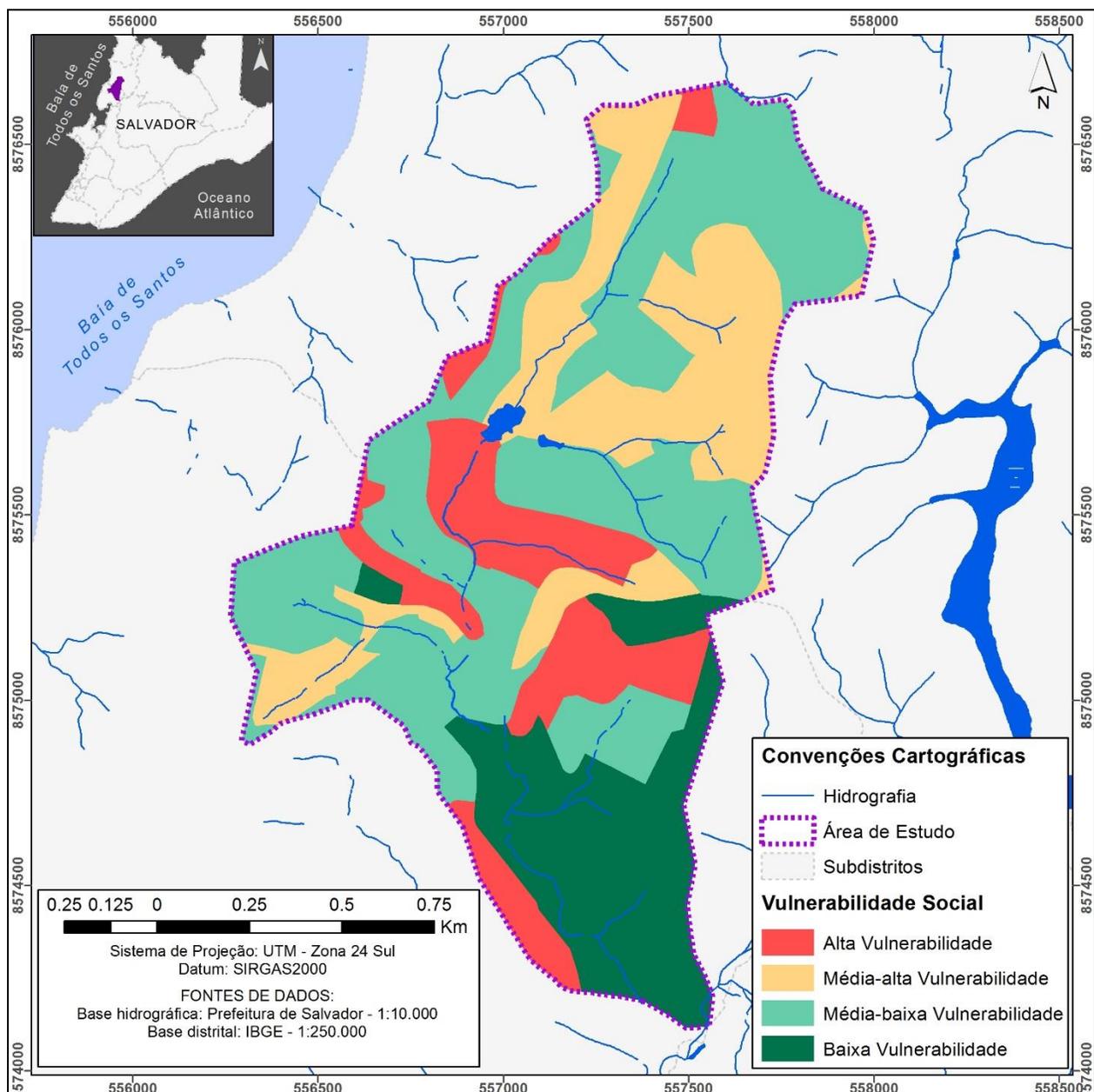


Figura 6. Mapa de vulnerabilidade social.

Os setores censitários classificados com vulnerabilidade alta ou média-alta ocupam uma área de 0,81 km<sup>2</sup>, equivalente a 38% da área total. A área é mais representada, entretanto, pela classe de vulnerabilidade média-baixa, equivalente a 43% da área total.

Ainda que não exista uma definição das variáveis a serem utilizadas de modo a garantir o completo sucesso dos índices de vulnerabilidade social (Schmidtlein et al., 2008), o modelo de

Medeiros (2014) considerou as variáveis que são muitas vezes utilizadas (infraestrutura de apoio às necessidades básicas, parcela de idosos e crianças na população, renda, gênero, entre outros dados) e segue o mesmo padrão de muitos trabalhos realizados no Brasil, como os de Deschamps (2004), Almeida (2010), Alves (2013), Jesus, Dias e Cruz (2014), Garcia e Matos (2015) e tantos outros.

### Vulnerabilidade socioambiental

A técnica da sobreposição de camadas foi desenvolvida no âmbito do planejamento territorial. É muito utilizada na avaliação de impactos ambientais, onde são feitos vários mapas temáticos envolvendo diversos fatores ambientais sobre uma mesma região. Esses mapas são sobrepostos, gerando uma síntese da situação ambiental de determinada

região (Pimentel e Pires, 1992; Carvalho e Lima, 2010; Cremones et al., 2014;).

Os resultados exibiram (ver Figura 7) uma maior prevalência das classes Baixa e Média-Baixa. As classes Alta e Média-Alta representam 39% (0,30 km<sup>2</sup>) do total de áreas vulneráveis (0,76 km<sup>2</sup>) e apenas 14% da área total da bacia.

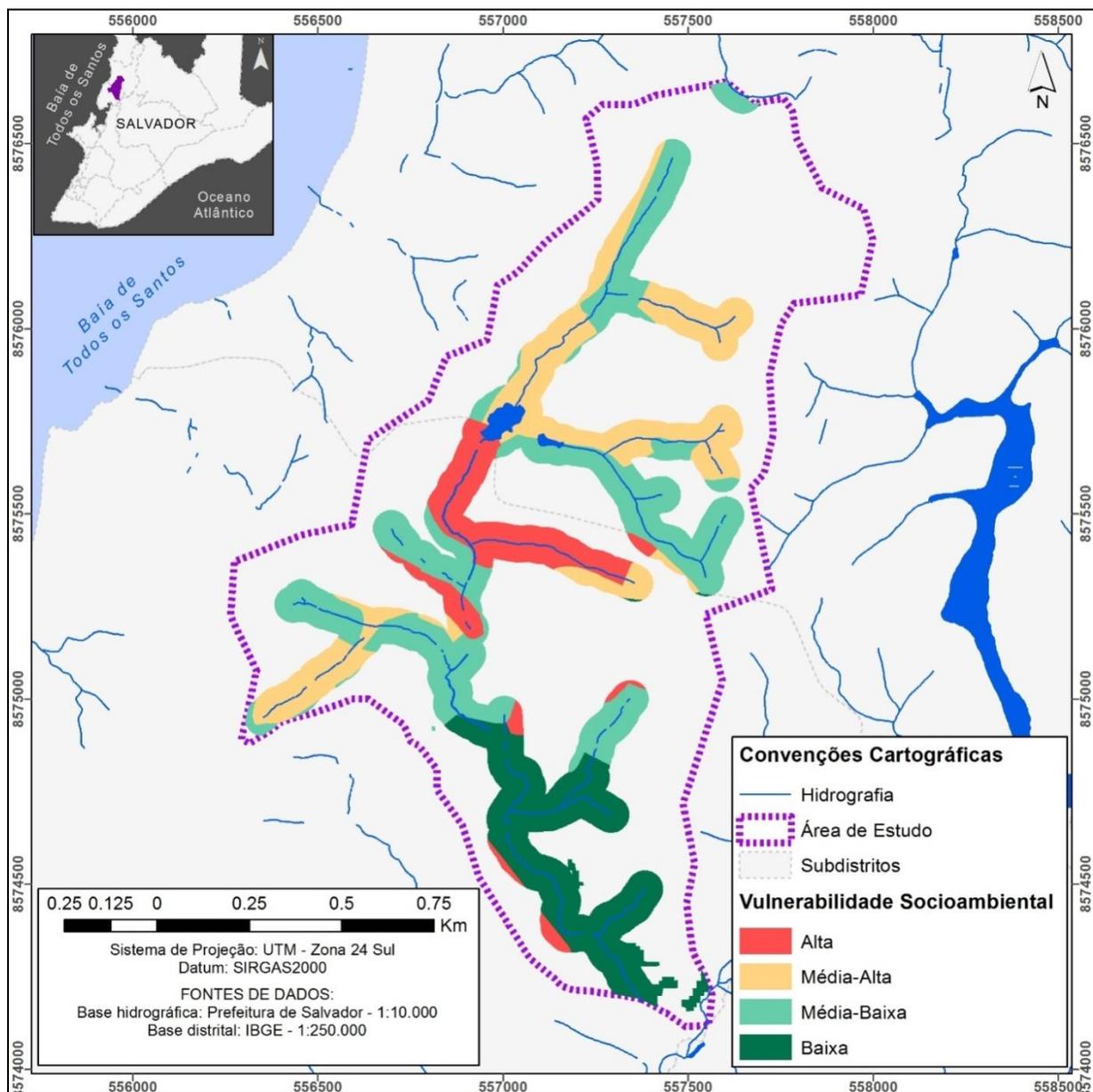


Figura 7. Mapa de vulnerabilidade socioambiental.

De maneira comparativa, têm-se o mapa de vulnerabilidade ambiental e o mapa de vulnerabilidade social como dois mapas temáticos da bacia do Mané Dendê. A sobreposição desses mapas resulta no mapa de vulnerabilidade socioambiental, seguindo uma metodologia que já é aplicada para outros objetivos que envolvem a análise espacial de uma região, e destacando a coexistência espacial das duas vulnerabilidades, ilustrado na Figura 7. A aplicação da técnica já conhecida como Álgebra de Mapas e, amplamente utilizada, garante uma segurança acerca da metodologia utilizada e do resultado obtido neste trabalho.

### Considerações finais

Para complementar a análise, utilizando uma imagem de satélite datada de junho de 2014, cedida pela empresa Quanta Consultoria LTDA., foi identificada na bacia a mancha de ocupação inserida nas áreas em situação de vulnerabilidade ambiental e/ou social, resultando na Figura 8. Essa mancha ocupa 0,75 km<sup>2</sup>, representando 36% da área total da bacia. Ainda, o Censo Demográfico de 2010 mostra uma densidade demográfica média de 20.784,33 hab/km<sup>2</sup>. Com base na área de ocupações irregulares, estima-se, portanto, que há em torno de 15.588 habitantes em situação de vulnerabilidade socioambiental na região do Mané Dendê.

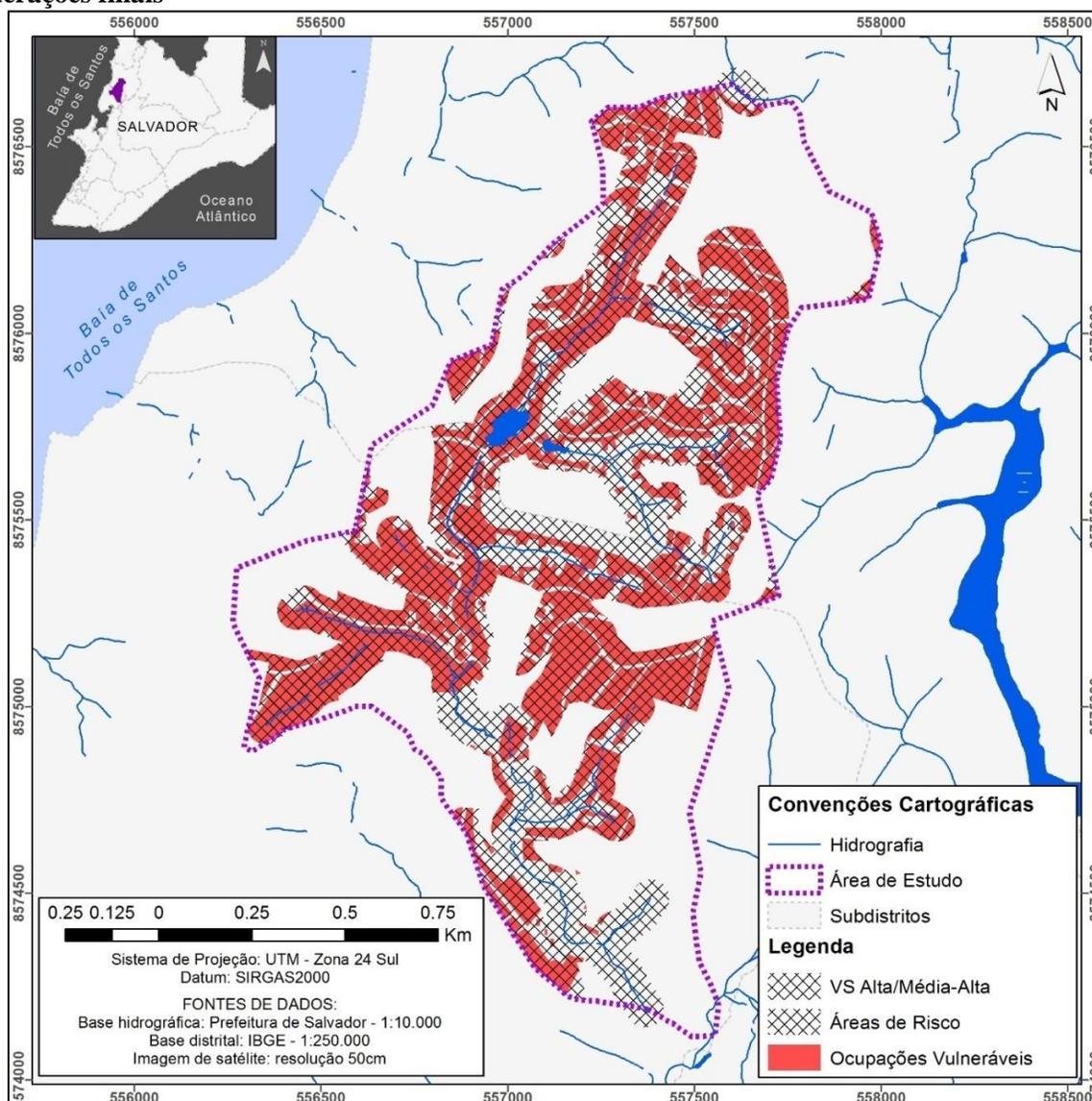


Figura 8. Mapa de ocupações vulneráveis inseridas nas regiões de vulnerabilidade socioambiental.

## Conclusão

Os critérios levantados para a identificação das áreas de risco de deslizamento de terra foram considerados insuficientes e mostram insegurança no resultado do mapeamento de vulnerabilidade ambiental, afetando diretamente a identificação final da vulnerabilidade socioambiental. Por este motivo, não é aconselhável utilizar esta metodologia para tomadas de decisão sem antes revisar alguns critérios utilizados.

Recomenda-se uma análise mais profunda nos critérios que levam à identificação do risco de deslizamento de terra, passando a considerar, além do grau de declividade do terreno, fatores que contribuem para a instabilidade do terreno, como o tipo de solo, o nível de precipitação da região, como se dá o uso e ocupação da terra e a geologia do terreno. Além disso, é sugerido, para trabalhos futuros, que se faça também uma análise da medida de 50 metros utilizada para a identificação das áreas de risco de inundação, uma vez que a medida adotada pelo Novo Código Florestal de 30 metros possa ser suficiente para este objetivo.

A metodologia utilizada para a identificação das áreas de vulnerabilidade social condiz com o que vem sendo utilizado no Brasil, usufruindo das informações fornecidas através dos censos demográficos do IBGE. Internacionalmente também são utilizadas metodologias similares. Isso garante, então, uma segurança para que o método seja utilizado com segurança como ferramenta para as tomadas de decisão.

O método de álgebra de mapas que originou o mapa de vulnerabilidade socioambiental é amplamente utilizado em outras aplicações de análise do espaço físico, como na identificação e avaliação de impactos ambientais, e pode ser utilizado com segurança para a análise da ocorrência de vulnerabilidade em uma região.

A identificação da localização espacial da vulnerabilidade é uma ferramenta eficaz na prevenção de desastres naturais. Este trabalho mostrou um passo a passo que resulta na identificação espacial da vulnerabilidade socioambiental. Para trabalhos futuros, entretanto, recomenda-se um aprofundamento nos critérios utilizados para identificar as áreas de vulnerabilidade ambiental de maneira mais segura e concisa, a fim de viabilizar o uso desta metodologia nas tomadas de decisão do planejamento territorial urbano.

## Referências

- Almeida, L. Q., 2010. Vulnerabilidades Socioambientais de Rios Urbanos. Tese (Doutorado). Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- Alves, H. P. F., 2006. Vulnerabilidade Socioambiental na Metrópole Paulistana: uma Análise Sociodemográfica das Situações de Sobreposição Espacial de Problemas e Riscos Sociais e Ambientais. *Revista Brasileira de Estudos de População* [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S01023098200600010004>. Acesso: 25 abr.2019.
- Alves, H. P. F., 2013. Análise da Vulnerabilidade Socioambiental em Cubatão-SP por Meio da Integração de Dados Sociodemográficos e Ambientais em Escala Intraurbana. *Revista Brasileira de Estudos de População* [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-30982013000200002> Acesso: 19 abr.2019.
- BRASIL, 2012. Lei nº 12651, de 25 de maio.
- Carvalho, D. L., Lima, A. V., 2010. Metodologias para Avaliação de Impactos Ambientais de Aproveitamentos Hidrelétricos. In: Encontro Nacional dos Geógrafos, 16. 2010, Porto Alegre. Anais..., Porto Alegre: AGB.
- Cremonez, F. E., Cremonez, P. A., Feroldi, M., Camargo, M. P., Klajn, F. F., Feiden, A., 2014. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil, *Remoia* 13, 3821-3830.
- Cutter, S. L., 1996. Vulnerability to Environmental Hazards. *Progress in Human Geography* 20, 529-539. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., Shirley, W. L., 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly* 84, 242-261. DOI: <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Cutter, L. S., 2011. A Ciência da Vulnerabilidade: Modelos, Métodos e Indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais* 93,59-69. DOI: <https://doi.org/10.4000/rccs.165>
- Deschamps, M. V., 2004. Vulnerabilidade Socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba. Tese (Doutorado). Curitiba, Universidade Federal do Paraná.
- Fernandes, M. C., Lagüéns, J. V. M., Netto, A. L. C., 1999. O Processo de Ocupação por Favelas e

- sua Relação com os Eventos de Deslizamentos no Maciço da Tijuca/RJ. Anuário do Instituto de Geociências UFRJ 22, 45-59.
- Garcia, R. F., Matos, R., 2007. A Distribuição Espacial da Vulnerabilidade Social das Famílias Brasileiras. In: Seminário população, pobreza e desigualdade, 2007, Belo Horizonte. Seminário População, Pobreza e Desigualdade. Belo Horizonte: ABEP.
- Guidicini, G., Nieble, C. M., 1983. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, 2 ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- Hyndman, D., Hyndman, D., 2011. Natural Hazards and Disasters, 3ed. Books-Cole, Canadá.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro.
- Jesus, C. F. P., Dias, N. W., Cruz, M. A. S., 2014. Vulnerabilidade Socioambiental na Bacia do Rio Japarutuba em Sergipe a Partir da Álgebra de Mapas. Reveng, Viçosa 22, 50-57. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v22i1.437>
- Kobiyama, M., Mendonça, M., Moreno, D. A., Marcelino, I. P. V. O., Marcelino, E. V., Gonçalves, E. F., Brazetti, L. L. P., Goerl, R. F., Moller, G. S. F., Rudorff, F. M., 2006. Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos, 1ed. Organic Trading, Curitiba.
- Marcelino, E. V., 2008. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Santa Maria-RS: CRS/INPE.
- Medeiros, C. B., 2014. Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Caucaia (CE): Subsídios ao Ordenamento Territorial. Tese (Doutorado). Fortaleza, Universidade Estadual do Ceará.
- Pimentel, G., Pires, S. H., 1992. Metodologias de Avaliação de Impacto Ambiental: Aplicações e Seus Limites. Revista de Administração Pública 26, 56-68.
- Plate, E. J., 2002. Flood Risk and Flood Management. Journal of Hydrology, 267, 2-11. DOI: [10.1016/S0022-1694\(02\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00135-X)
- Santos, R. F., 2007. Vulnerabilidade Ambiental: desastres ambientais ou fenômenos induzidos? MMA, Brasília.
- Schmidtlein, M. C., Deutsch, R. C., Piegorsch, W. W., Cutter, S. L., 2008. A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index. Risk Analysis 28, 1009-1114. DOI: [10.1111/j.15396924.2008.01072.x](https://doi.org/10.1111/j.15396924.2008.01072.x)
- Selby, M. J., 1993. Hillslope Materials and Processes, 2 ed. Oxford University Press, Oxford.
- Silveira, H. L. F., Vettorazzi, C. A., Valente, R. A., 2014. Avaliação Multicriterial no Mapeamento da Suscetibilidade de Deslizamentos de Terra, Revista Árvore, Viçosa-MG 38, 973-982. DOI: <https://doi.org/10.1590/S010067622014000600002>.
- Simões, J. G. G., Jardim, C. H., Parizzi, M. G., Zanovello, R., 2012. Análise do Risco de Enchentes e Inundações na Av. Cristiano Machado, Belo Horizonte, MG. Revista GeoNORTE 1, 867-880.
- Tagliani, C. R. A., 2002. A Mineração na Porção Média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estratégia para a Gestão Sob um Enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado. Tese (Doutorado). Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tominaga, L. K., Amaral, R., Santoro, J., 2009. Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir, 1 ed. Instituto Geológico, São Paulo.
- UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010. Florianópolis.
- UN/ISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2004. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. Geneva.
- Vargas, H. L., 2008. Ocupação irregular de APP urbana: um estudo da percepção social acerca do conflito de interesses que se estabelece na lagoa do Prato Raso, em Feira de Santana, Bahia. Sitientibus 1, 7-36.
- Veyret, Y., 2007. Os Riscos: o Homem como Agressor e Vítima 1 ed. Contexto, São Paulo.