



## MENSURAÇÃO DO ÍNDICE DE RISCO SOCIOAMBIENTAL A INUNDAÇÕES URBANAS NA MICROBACIA DO IGARAPÉ-MOURA, CASTANHAL - PA

Francisco Helter Fernandes do Amaral<sup>1</sup>  
Viviane Corrêa Santos<sup>2</sup>  
Edson Luís Piroli<sup>3</sup>

### RESUMO

A ocorrência de inundações durante eventos de precipitação extrema na área urbana da microbacia do Igarapé Moura, tem sido um condicionador à formação de diferentes cenários de riscos e socioambientais. Neste contexto, o presente estudo objetiva analisar os riscos socioambientais derivados das inundações na área da microbacia do Igarapé Moura. Para tanto, foi realizado o levantamento da ocorrência de episódios de inundações, seguido pela modelagem hidrológica aplicada a eventos extremos de precipitação, em diferentes tempos de retorno (TRs) para se estimar o perigo e fazer a construção de indicador de vulnerabilidade social, seguido da construção do Índice de Vulnerabilidade socioambiental Urbana da microbacia. Como resultados, pode-se perceber um acelerado escoamento superficial das águas nas sub-bacias de contribuição à montante e lateral do trecho urbanizado da microbacia, acarretando sobrecarga no sistema de drenagem Canal do Salgado Grande, resultando nas inundações periódicas. Além disso, o sistema socioambiental urbano revelou, a presença de um cenário preocupante de vulnerabilidade social das populações inseridas nas zonas de perigo à inundações.

**Palavras-chave:** Modelagem Hidrológica, degradação ambiental, problemas urbanos.

### RESUMEN

La ocurrencia de inundaciones durante eventos de precipitación extrema en el área urbana de la microcuenca de Igarapé Moura ha sido una condición para la formación de diferentes escenarios de riesgo y socioambientales. Así, este estudio tiene como objetivo analizar los riesgos socioambientales derivados de las inundaciones en la zona de la microcuenca de Igarapé Moura. Por lo tanto, se realizó un relevamiento de la presencia de episodios de inundaciones, seguido de la modelación hidrológica aplicada a eventos de precipitación extrema, en diferentes tiempos de retorno (TRs) para estimar la amenaza, construcción de un indicador de vulnerabilidad social, seguido de la construcción del Índice de vulnerabilidad social y ambiental de la cuenca. Como resultado, se puede observar una escorrentía acelerada en las subcuencas de contribución aguas arriba y laterales de la sección urbanizada de la microcuenca, provocando una sobrecarga en el sistema de drenaje Canal do Salgado Grande, lo que resulta en inundaciones periódicas. Además, el sistema socioambiental urbano reveló la presencia de un escenario preocupante de vulnerabilidad social de poblaciones insertadas en zonas de peligro de inundaciones.

**Palabras clave:** Modelización hidrológica, degradación ambiental, problemas urbanos.

---

1 Mestrando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), [helter.fernandes@unesp.br](mailto:helter.fernandes@unesp.br);

2 Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação do curso de Geografia da Universidade Federal do Pará (UFPA), [viviane.santos@uepa.br](mailto:viviane.santos@uepa.br);

3 Professor associado do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), [edson.piroli@unesp.br](mailto:edson.piroli@unesp.br);



## INTRODUÇÃO

Nos países que compõem a América do Sul, se destacam os desastres naturais derivados de eventos hidrometeorológicos, correspondentes a 78,4% do total (NUNES 2015, p.61). Entre os desastres provenientes dessa ordem salienta-se as inundações, que no Brasil entre os anos de 1960 a 2009 corresponderam a 101 eventos, o maior contingente registrado entre todos os países da América do Sul. Também é no Brasil que prevalece o maior e crescente contingente de população afetada por esse perfil de desastre (NUNES, 2015, p.72).

Considerando esse contexto, as inundações podem ser compreendidas como fenômenos hidrológicos que compõem as dinâmicas naturais dos ambientes fluviais. Todavia, estudos diversos, indicam que essa “naturalidade” está passando por alterações, particularmente agravadas nos centros urbanos devido as transformações socioestruturais, característica implementada principalmente pelo modelo de urbanização adotado para maioria dos municípios brasileiros.

Nesse modelo de urbanização, o processo de ocupação de áreas configuradas como naturalmente suscetíveis a ocorrência de fenômenos hidrológicos, a exemplo das planícies de inundação, é crescente (CASTRO, 1998). Ao mesmo tempo, a expansão da ocupação de áreas cada vez mais amplas das bacias hidrográficas com atividades antrópicas, e no caso de áreas urbanizadas, com a intensificação da impermeabilização do solo, contribuem para o acúmulo das águas pluviais superficialmente, potencializando as inundações. Neste contexto, os problemas ambientais devem ser compreendidos como análogos às demandas socioespaciais e seus reflexos na diminuição da qualidade de vida da sociedade urbana, aos quais a abordagem dos riscos socioambientais carece de especial atenção tanto da comunidade científica quanto por parte dos departamentos de gestão pública.

Em decorrência da escassez de dados na região Amazônica do território Brasileiro, diversas metodologias visando a determinação, avaliação e previsão dos riscos a inundações no ambiente urbano, vem surgindo nas últimas três décadas, utilizando diferentes recursos cartográficos e tecnológicos, como os instrumentos de geotecnologias, Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas-SIGs (GUASSELLI *et al.* 2016).

A cidade de Castanhal, campo dessa pesquisa, é uma das principais cidades de porte médio da região amazônica, com expressivo crescimento populacional. De acordo com o IBGE (2019) variou de 65.251 habitantes em 1991 para 203.251 em 2020. Ao mesmo tempo, ocorreu expansão da área urbana de 145,9% entre 1984 a 2016.



Essa dinâmica resultou em um intenso processo de transformação na estrutura dos rios e igarapés da cidade, devido ao intenso desmatamento de matas ciliares para a edificação de novas residências características de diferentes contextos sociais, e de construção de diversos tipos de estruturas urbanas. Além disso, vários trechos de rios encontram-se canalizados e em situação de completa poluição pelo despejo irregular de fossas sépticas, advindas das residências de entorno, e pelo despejo de resíduos da produção industrial local.

Assim, o presente estudo visa expor uma aplicação metodológica voltada para mensuração do risco socioambiental à inundação no perímetro urbano da microbacia do Igarapé-Moura, localizada na Região Geográfica Imediata e Intermediária de Castanhal, um município situado na porção nordeste do estado do Pará, portanto, inserido na Região Amazônica Brasileira.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Segundo, Tucci (2008) as inundações podem ocorrer em áreas ribeirinhas ou decorrentes do processo de urbanização. A primeira seria derivada do processo natural de ocupação do leito maior pelas águas do rio, frente a uma intensa precipitação, um fenômeno com periodicidade média superior a dois anos. Esse processo se configuraria junto as bacias de grande porte (500 km<sup>2</sup> ou superiores).

Já as inundações urbanas, apesar de dependerem da ocorrência de evento extremo de precipitação, encontram-se associadas ao processo de urbanização, responsável por elevar a frequência e a magnitude das inundações devido à ocupação de áreas impróprias, impermeabilização de superfícies, presença de obstruções ao escoamento, construções de drenagem mal planejada, assoreamento nos canais, entre outros. Também se destaca, a maior frequência no tempo de retorno e por ocorrerem sobre bacias de pequeno porte, que variam de 1 a 100 km<sup>2</sup>.

Amorim; Reis; Ferreira (2017), informam que as inundações também podem ser classificadas segundo a velocidade de escoamento, provocada pelo evento chuvoso, sendo dois os tipos de inundações: inundações bruscas, caracterizadas pela súbita elevação do volume de água nos cursos de drenagem, geralmente tais ocorrências estariam associadas a incidência de precipitações extremas em curto período de tempo ou rompimento de barragens. Já, as inundações graduais seriam decorrentes de um quadro de extravasamento gradual do volume hídrico mantido pelo curso d'água. Portanto, um evento de fácil previsibilidade e característico das áreas de planície.



Outra forma de classificar as inundações, encontra-se associada aos danos decorrentes destes eventos em áreas urbanas, onde podem ser definidos como tangíveis ou intangíveis. Correspondendo respectivamente, aos danos passíveis de serem estimados monetariamente, sendo geralmente adotados como base para definição dos seguros de objetos expostos ao risco de um determinado evento. Enquanto que a segunda categoria, destaca-se pela difícil estimativa das perdas, tendo em vista, a imprecisão de se mensurar em valores monetários os significados emocionais, étnicos ou culturais agregados a tais prejuízos (CANÇADO, 2009).

Nesse sentido, a ocorrência de eventos extremos no ambiente urbano, a exemplo das inundações, revela-se uma temática de interesse que acompanha a vivência das cidades médias da região amazônica. Apesar de não ser uma temática recente, o intenso processo de urbanização associado a um cenário de precarização dos aparelhamentos estruturais e ao quadro de alterações climáticas globais exige o desenvolvimento de novos aportes teórico-metodológicos que possibilitem uma compreensão holística e interdisciplinar dos atores e fatores, intensificadores e mitigadores envolvidos na dinâmica destes eventos.

Visando contribuir para o desenvolvimento teórico-metodológico das pesquisas relacionadas às problemáticas socioambientais urbanas, Mendonça (2004), se baseia na postulação do SCU – Sistema Climático Urbano proposto por Monteiro (1976) e nos trabalhos de PNDU/UNOPS (1997), para a construção do Sistema Ambiental Urbano-S.A.U. O Sistema Ambiental Urbano está sendo largamente adotado em trabalhos geográficos na última década, Mendonça et al. (2016) fazem a seguinte contribuição, a respeito:

A construção inicial visou orientar estudos na compreensão do ambiente urbano como um sistema complexo derivado da interação entre a natureza, a sociedade e os elementos dinamizadores desta interação na cidade, estando estes na gênese dos problemas socioambientais variados dos contextos urbanos. Em etapa mais recente o autor inseriu na sua construção a perspectiva de também focar o S.A.U. considerando os riscos e vulnerabilidades socioambientais, posto que estas duas condições tem ganhado cada vez maior importância na atualidade devido à intensificação dos impactos dos eventos extremos (naturais, sociais e tecnológicos) sobre a sociedade, especialmente sobre as sociedades urbanas (MENDONÇA et al., 2016, p. 331).

Dessa forma, o S.A.U constitui um sistema complexo de fluxos de matéria e energia que o entrelaça ao campo de análise dos impactos socioambientais, trabalhado na perspectiva de uma abordagem integrada que abrange a realidade construída pelos problemas socioambientais que provocam os riscos e vulnerabilidades derivados da relação sociedade-natureza.

A estrutura do S.A.U, encontra-se baseada em subsistemas, “para os quais, após um diagnóstico detalhado dos problemas, levantam-se sugestões e diretrizes ao planejamento e à gestão urbana.”. (MENDONÇA, 2004, p. 205). Inicialmente, o Sistema Ambiental Urbano é subdividido em três subsistemas principais: INPUT (entrada); ATRIBUTOS e OUTPUT



(saída), que por sua vez, podem ser novamente subdivididos em vários outros subsistemas, segundo a necessidade do pesquisador em adaptá-lo aos objetivos de interesse da análise e das características dos fatores dinamizadores intrínsecos à área estudada. Assim, Mendonça (2010) descreve de maneira simplificada os subsistemas principais:

**Input do S.A.U.** – Fluxos de matéria e energia, tanto de ordem natural quanto derivados dos processos sociais. Ele é então composto pelo Subsistema Natureza e pelo Subsistema Sociedade, podendo ser ainda subdividido em vários subsistemas, tais como os Subsistemas N (relevo, ar, água, vegetação e solos) e Subsistemas S (habitação, indústria, comércio, serviços, transporte, lazer).

**Atributos do S.A.U.** – São as instâncias sociais (Subsistema Sociedade) que imprimem a dinâmica / movimento do sistema ambiental na cidade. Neste âmbito prevalecem as características pertencentes à superestrutura da sociedade (economia, política) e a cultura da população que a constitui, além da educação e da tecnologia. As manifestações abruptas, episódicas e impactantes da natureza também aparecem como importantes dinamizadores do S.A.U.

**Output do S.A.U.** – Aqui aparecem os vários problemas resultantes da interação entre os vários subsistemas e subsistemas do S.A.U., e que demandam a atenção da população, dos governantes, da sociedade organizada e das instituições.

**Aplicações** – Nesta particularidade do S.A.U. devem ser estudadas e elaboradas as propostas para o equacionamento dos problemas socioambientais urbanos. A solução dos mesmos terá implicação direta na qualidade de vida das populações envolvidas, o que promoverá uma alteração do input, dos atributos e do output do S.A.U por intermédio de mecanismos de feedback. (MENDONÇA, 2010, p.157).

Partindo disso, os problemas derivados da interação entre sociedade e natureza demandam condições de análise muito mais intensas nos aglomerados urbanos. De acordo com Mendonça (2004), diversos estudos trataram os problemas das cidades e do sistema ambiental urbano pela perspectiva dos riscos socioambientais urbanos. Entre os trabalhos dessa linha, destacam-se aqueles que abordam uma concepção direcionada as diferenças entre os ritmos dos processos naturais e sociais, visando melhor compreender as problemáticas ambientais urbanas.

Sob essa ótica, destacam-se os trabalhos de Michel Serres (1984) e Santos (1993), onde a natureza e a sociedade em sua fase tecnológica são dotadas de tempos distintos. A primeira caracterizada por um ritmo lento, enquanto a segunda por um tempo veloz. Mendonça (2004), destaca que essa perspectiva expressa exacerbada generalização, tendo em vista que existem processos naturais que apresentam ritmo acelerado como os natural hazards, e processos sociais que demandam tempo. Esse autor, destaca que tais ritmos estão atrelados a uma situação de momento do fenômeno, estando presentes nos fenômenos da natureza e da sociedade.

Contudo, ao se considerar os fenômenos naturais caracterizados por um ritmo rápido, natural hazards, e os grupos sociais que vivem sob o tempo lento, temos que esse último se encontra em situação de maior vulnerabilidade aos perigos naturais, em relação àquela parcela da sociedade que vive sob o tempo veloz, por deterem condições econômicas e tecnológicas



superiores, o que lhes confere a impressão de controlar o tempo e a natureza, portanto, estando pouco expostas aos riscos (MENDONÇA, 2004).

Segundo Veyret (2007), o risco compreende, uma perspectiva da probabilidade de ocorrência de um evento danoso, ou seja, através da presença de um contexto de perigo, perceptível à comunidade, tornando-a responsável pela exposição às diferentes ordens de impactos. Já a categoria denominada de natural hazards ou perigo natural, são colocados por UNDP (2004), como sendo eventos naturais dotados de potencial prejudicial, tanto para o meio ambiente, quanto para as comunidades expostas, gerando o cenário de risco.

Por sua vez, o perigo “refere-se à possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado.”. (TOMINAGA, 2009, p. 151). Assim diferente das demais definições, que se restringem às variáveis espacialidade, potencialidade e prejuízo, Tominaga (2009) insere o fator tempo, reconhecendo que os diferentes períodos de recorrência de um dado evento, influenciam na intensidade do perigo, sobre uma determinada área naturalmente suscetível.

Pelling (2003), além de inferir a vulnerabilidade como exposição ao risco, também considera a capacidade do indivíduo em resistir aos efeitos estimados de um dado evento, subdividindo-a em três grupos: vulnerabilidade física, uma constante ligada a estrutura do cenário físico em resistir aos efeitos de um evento extremo. Vulnerabilidade social, dependente dos sistemas sociais, econômicos e políticos responsáveis por prestar assistência aos diversos perfis de indivíduos/grupos sociais atingidos. Vulnerabilidade humana, resultante da interação entre as vulnerabilidades físicas e sociais.

Com isso, as condições de risco ambiental aparecem derivadas de todo um complexo de vulnerabilidade aos eventos naturais extremos (perigo), provenientes do quadro de desigualdade e exclusão social, tão comuns às cidades dos países subdesenvolvidos, que promovem uma maior exposição a fenômenos naturais, tecnológicos ou sociais. Sendo assim, a ideia de risco ambiental parte de uma abordagem dualista entre as ciências da natureza e as ciências da sociedade (MENDONÇA, 2004).

Neste contexto, a abordagem dos riscos e vulnerabilidades socioambientais enquadram-se adequadamente ao prisma da análise interdisciplinar que avalia os impactos socioambientais, decorrentes de eventos naturais agravados pela ação antrópica sobre o meio, por serem espacial e temporalmente mensurados, encaixando-se na avaliação dos efeitos da ação antrópica sobre o meio. É imprescindível considerar os aspectos naturais e sociais que caracterizam os distintos grupos, que compõem uma sociedade, em diferentes níveis de vulnerabilidade a um determinado perigo natural (MENDONÇA, 2016).

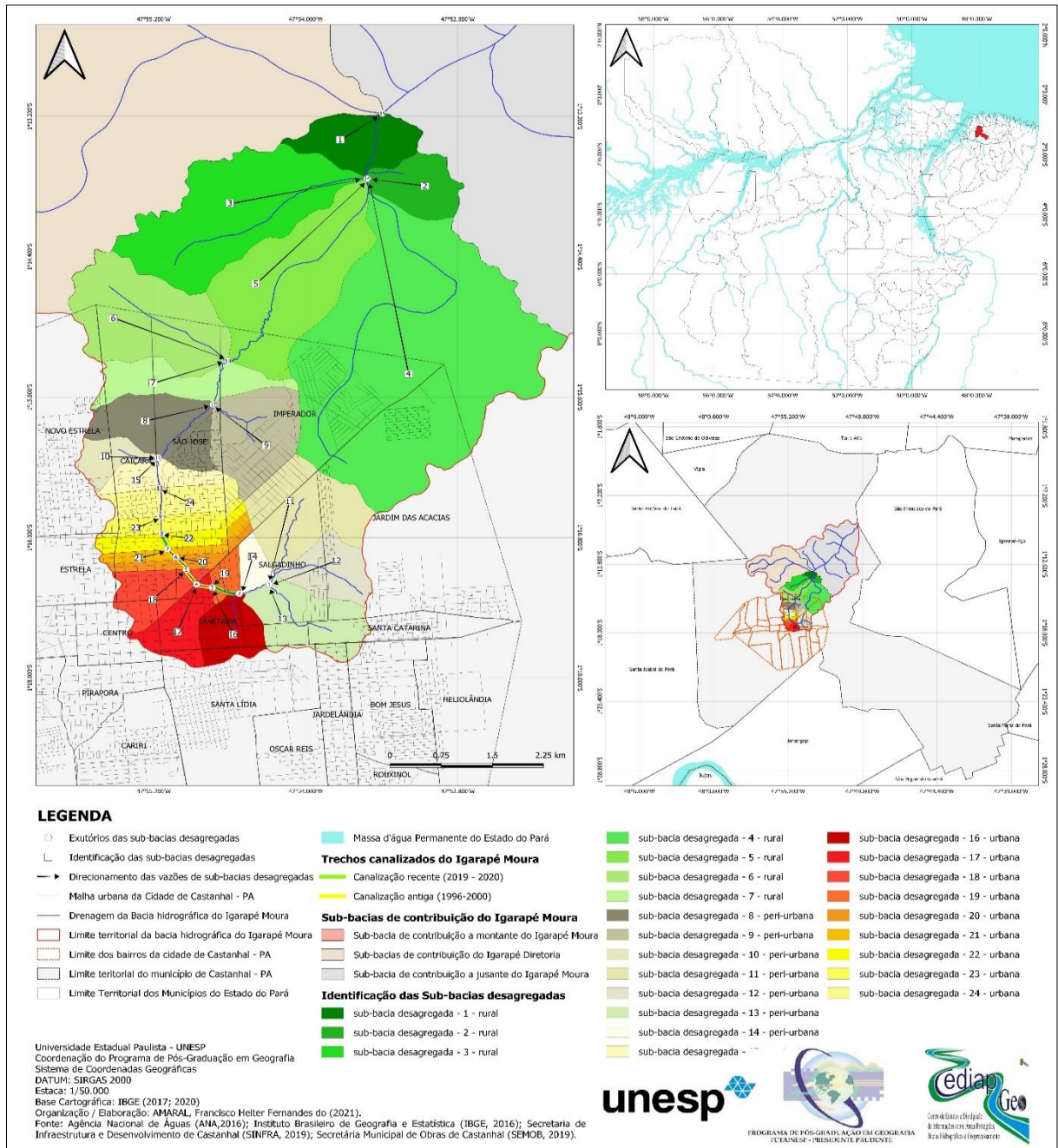




## METODOLOGIA

A área de estudo corresponde à montante da bacia hidrográfica do Igarapé Moura (Figura 1).

**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração do primeiro autor.

A bacia está ocupada por parcela significativa da área urbana da cidade de Castanhal-PA. O município de Castanhal desponta de uma posição geográfica privilegiada, por ser cortado



pela rodovia Federal BR-316 estando distante apenas 68 km da capital do estado do Pará, Belém, o que faz dessa cidade um importante rota de entrada e saída de insumos da Região Metropolitana de Belém. De acordo com a classificação de Köppen, a bacia pertence ao subtipo Af, clima tropical chuvoso (úmido) (VALENTE et al. 2001).

Para o estudo foram executados diversos procedimentos técnicos, detalhados a seguir:

De acordo com as prerrogativas de Bertoni e Tucci (2007), o hietograma de projeto compreenderia uma série de precipitações com potencial de provocar uma cheia de projeto (GUASSELLI et al, 2016, p. 356). Assim, as precipitações extremas foram estabelecidas através da equação de Intensidade Duração e Frequência - IDF ajustada para a cidade de Castanhal-PA, por Souza et al. (2012), como presente na (Equação 1).

$$i = \frac{1216,73 \cdot Tr^{0.1266}}{(t + 9.7886)^{0.9947}} \quad \text{Eq - 01}$$

Onde:  $i$  é a intensidade da chuva em mm/min;  $Tr$  - é o tempo de recorrência em anos;  $t$  é a duração da chuva em minutos;  $e$ ,  $K$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros determinados para cada localidade.

Para a geração dos hietogramas de projetos, foram selecionados os TR de 20, 60 e 100 anos para simular diferentes probabilidades de precipitações. A duração da chuva foi determinada como igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica do igarapé Moura, obtido pelo método de Kirpich (KIRPICH, 1940) (Equação 2), para a geração do hietograma de projeto, foi utilizado o método dos blocos alternados, segundo proposto em (Oliveira, 2018), mantendo discretização temporal de 5 minutos ( $\Delta t$ ), a posição do pico ( $\lambda$ ) foi ajustada para 0,5d, isto é, ocorrendo na metade da duração da chuva.

$$tc = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Eq - 02}$$

Onde:  $Tc$  é o tempo de concentração em minutos;  $L$  é o comprimento do rio principal em km;  $H$  é o desnível altimétrico em metros.

A drenagem e a área da microbacia foram mapeadas manualmente em SIG, de acordo com o método proposto por (SPERLING, 2007, p. 60-63). Através do uso de dados planialtimétricos e registros topográficos, obtidos junto à Secretaria de Planejamento e Gestão de Castanhal – (SEPLAGE), sendo gerado um Modelo Digital de Terreno-MDT com resolução de 1 m<sup>2</sup>, a partir da interpolação Triangulated Irregular Network-TIN. Que também serviu de base para a discretização da área em sub-bacias de contribuição (GRACIOSA, 2010).

O modelo utilizado para transformação da precipitação em escoamento superficial foi o SCS (Soil Conservation Service), tendo por base o Hidrograma Unitário Triangular (SCS, 1975). A simulação hidrológica foi executada no software IPHS1, que Viegas Filho (2000)





descreve como um sistema estruturado em consonância com a Metodologia de Modelagem Orientada a Objetos e aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos, sendo necessárias as Equações 3 e 4, para determinar a vazão máxima e o tempo de pico, respectivamente.

$$q = \frac{2,08 \cdot A}{\frac{D}{2} + t_p} \quad \text{Eq - 03}$$

$$t = \frac{2,6L^{0,8} \cdot \left(\frac{S}{25,4} + 1\right)^{0,7}}{1900 \cdot Y^{0,5}} \quad \text{Eq - 04}$$

Onde: A é a área de drenagem em km<sup>2</sup>; D é o intervalo de tempo em horas; t<sub>p</sub> é o tempo de pico em horas; L é o comprimento hidráulico em m; y é a declividade em porcentagem.

O modelo SCS tem como parâmetros a área de drenagem (A), o comprimento do rio principal (L), o desnível altimétrico (H) e o Curve Number (CN). Os parâmetros A, L e H foram extraídos do MDT, utilizando ferramentas de análise espacial. Enquanto que o parâmetro CN, foi estimado através do cruzamento entre o mapa de uso e cobertura da terra e o mapa de tipos de solos do município de Castanhal-PA.

O mapa de solos foi obtido junto à Secretaria de Planejamento e Gestão de Castanhal, enquanto que o mapeamento do uso e cobertura da terra foi realizado com imagem do satélite CBERS-4A, Câmera PAN, órbita-ponto 161-102, adquirida em 05/06/2021, utilizando o método de classificação supervisionada de Bhattachary. Para o cálculo do CN médio, foram consideradas as seguintes classes de uso, ocupação e cobertura do solo: Terrenos baldios; Construções habitacionais; Construções comerciais; Construções Industriais; Áreas de Solo Exposto; Vegetação arbórea densa urbana; Floresta densa; Vegetação secundaria; Vias; Áreas de cultivo agrícola; Pastagem; Plantações; Corpos hídricos. O cruzamento se deu pela equação (5). Já para se estabelecer a relação entre a capacidade de armazenamento da bacia (S) e o índice CN foi adotada a (Equações 6).

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + s - I_a} \quad \text{Eq - 5}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq - 6}$$

Onde: Q é o volume superficial acumulado em mm; P é a precipitação total acumulada em mm; I<sub>a</sub> são as perdas iniciais, estimado em 0,2S; S é a capacidade máxima de armazenamento no solo (mm). CN corresponde ao Curve Número.



Para a modelagem hidráulica de propagação da vazão nos trechos de rio foi utilizado o modelo Muskingum-Cunge, que consiste em uma adaptação do modelo de escoamento em rios do tipo armazenamento, Muskingum, desenvolvido por McCarthy (1938) e estruturado com base na equação da continuidade concentrada (Equação 7) e na relação entre armazenamento (s) e vazão (q), para estimar o escoamento na drenagem (TUCCI, 1998).

$$\frac{ds_t}{dt} = I_t - Q_t + Q_L \quad \text{Eq - 7}$$

Onde:  $I_t$  é o Hidrograma de entrada;  $Q_t$  é o Hidrograma de saída;  $Q_L$  é a contribuição lateral de todo o segmento de rio.

Para o modelo Muskingum-Cunge adota-se os seguintes parâmetros: extensão do canal/rio (EXT); cota do canal à montante (CtM); cota do canal à jusante (CtJ); profundidade do canal (Z); largura média do canal (B); coeficiente de rugosidade de Manning (n); altura da planície de inundação (Z1); largura média da planície de inundação (B1); coeficiente de rugosidade da planície de inundação (n1). As variáveis EXT, B, CtM, CtJ, Z1 e B1 foram calculados a partir do MDT. Ressalta-se que o coeficiente de rugosidade para revestimento interno dos canais de drenagem foi definido segundo o trabalho de ASCE (1982), enquanto que o coeficiente de rugosidade para as planícies de inundação, seguiu as propostas de McCuen, R. et al. (1996).

As modelagens permitiram a obtenção dos valores de pico da vazão (Q), cota atingida (C) e a volume escoado (V) em função do tempo (t). tendo por base tais informações e as características geométricas de cada seção da bacia, foi possível calcular a área da seção transversal “molhada” (ASTM), (Equação 08).

$$ASTM = B \cdot Z + B1 \cdot (C - Z) \quad \text{Eq - 8}$$

Onde: ASTM corresponde a área (m<sup>2</sup>) da seção transversal molhada; B é a largura média do rio; Z é a profundidade média; B1 representa a largura média (m) da planície de inundação; C é a cota atingida.

Para cada trecho de rio foram gerados diferentes perfis transversais com base nas informações altimétricas do MDT. Para calcular a cota máxima atingida nas (TR) de 20, 60 e 100 anos, foi utilizada a metodologia proposta em (Guasselli et al., 2016) e (Oliveira et al., 2018), baseada na interpolação das áreas inundadas pelo método do Inverso do Quadrado da Distância – IDW. Posteriormente com a adoção da técnica de álgebra de mapas foram estipuladas as áreas inundadas para os respectivos tempos de retornos.

O cálculo do índice de vulnerabilidade social referente ao perímetro urbano da microbacia, seguiu as proposições de Goerl, Kobayama e Pellerin (2012), Zenella et al (2013) e



Nunes e Aquino (2020), utilizando-se os indicadores socioeconômicos do censo demográfico de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011). O levantamento se manteve concentrado nas seguintes variáveis: número de moradores no setor censitário; média de moradores por domicílio; densidade demográfica; soma da porcentagem da população acima de 65 e abaixo de 12 anos; porcentagem média das condições de habitação e infraestrutura dos domicílios; soma das porcentagens dos domicílios sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo; Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Concluído o levantamento das variáveis, deu-se prosseguimento a construção do índice de vulnerabilidade social – IVS, através da Equação (9):

$$IVS = \frac{V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6}{V7} \quad \text{Eq - 09}$$

Onde: IVS – Índice de Vulnerabilidade Social; V1 - Número de moradores no setor censitário; V2 - Média de moradores por domicílio; V3 - Densidade demográfica; V4 - Soma da porcentagem da população acima de 65 e abaixo de 12 anos; V5 – porcentagem média das condições de habitação e infraestrutura dos domicílios; V6 - Soma das porcentagens dos domicílios sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo; V7 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM).

Concluída essa etapa, realizou-se o escalonamento das unidades de todas as variáveis, entre os intervalos de 0 a 1, onde, 0 representa o valor mínimo de cada variável, enquanto 1 equivale ao valor máximo. Assim, para se obter as variáveis normalizadas (escalonadas), utilizou-se a (Equação 10) (NUNES E AQUINO, 2020).

$$\text{Valor escalonado} = \frac{V. \text{observado} - V. \text{mínimo}}{V. \text{máximo} - V. \text{mínimo}} \quad \text{Eq - 10}$$

Onde: Valor escalonado - valor entre 0 e 1 V. observado - é o valor encontrado por setor; V. mínimo - é o menor valor encontrado em determinada variável (entre todos os setores); V. máximo - é o maior valor encontrado em determinada variável (entre todos os setores).

O tratamento estatístico esteve baseado nas prerrogativas de (NUNES E AQUINO, 2020), portanto, realizado com base na Abordagem Multivariada através da Análise Fatorial (AF) e da Análise de Agrupamento ou Técnica de Cluster, resultando na construção de cinco categorias de Índice de Vulnerabilidade Social - IVS, sendo estes: IVS Muito Baixo (valores entre 0 e 1), IVS Baixo (valores entre 1,01 e 2) Médio (valores entre 2,01 e 3); IVS Alto (valores entre 3,01 e 4) e IVS Muito Alto (Valores entre 4,01 e 4,62). Conforme informado por Nunes e Aquino (2020, p. 188), o valor máximo passível de ser obtido, através das técnicas estatísticas executadas, equivale a cinco.

A geração do índice de risco socioambiental a inundações partiu do cruzamento dos índices de vulnerabilidade social – IVS e dos índices de Perigo Estimado – PE. Tendo, como



base a proposta metodológica de Almeida (2010), foram definidas cinco classes de risco (Quadros 1).

**Quadro 1** - Síntese dos índices de perigo e de vulnerabilidade

IVS \ IPI	IPI				Legenda	
	A	M	B	SR	Índice de Risco Socioambiental Urbano	
MA					MA = Muito Alta	
A					A = Alta	
M					M = Médio	
B					B = Baixo	
MB					MB/SR = Muito Baixo/Nulo	

Fonte: Adaptado de Farias (2019).

Dessa forma, na presente pesquisa, compreende-se que a estimativa do risco, é derivada da probabilidade de ocorrer um evento extremo com potencial de causar prejuízos a indivíduos ou grupos sociais que, por sua vez, detém diferentes níveis de exposição, variando segundo suas características socioeconômicas ou estruturais (VEYRET, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

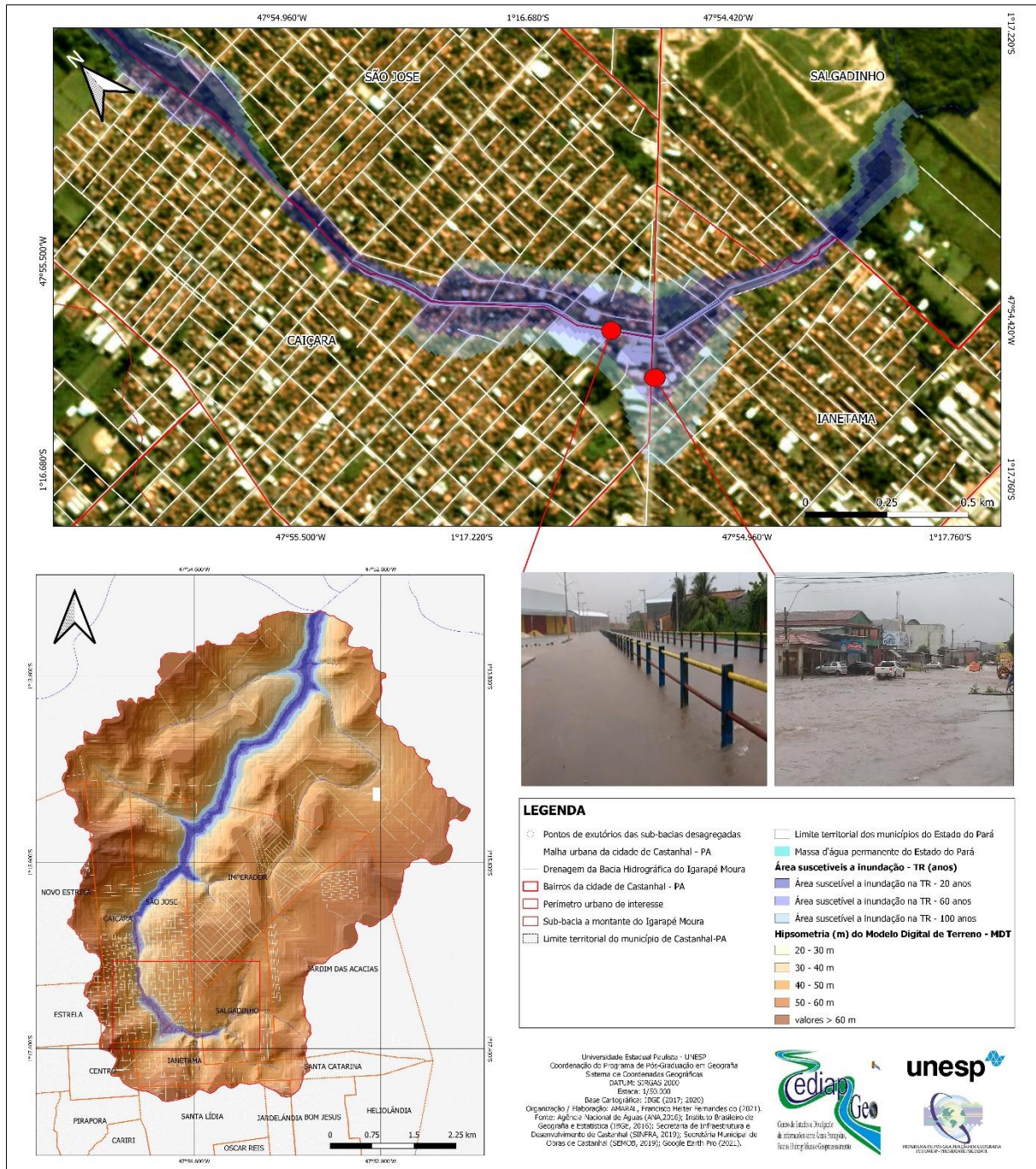
Os resultados obtidos revelaram que as áreas de inundações abrangem 0,500 Km<sup>2</sup> para o evento com TR de 20 anos, 0,703 Km<sup>2</sup> para a precipitação de projeto de 60 anos e 0,899 Km<sup>2</sup> para o evento de 100 anos para a região a montante. No perímetro urbano da microbacia do igarapé Moura foi observado uma área de 0,231 Km<sup>2</sup> em situação de “alto perigo” a inundação (TR de 20 anos), seguida de 0,316 Km<sup>2</sup> de área com “perigo médio” (TR de 60 anos) e 0,399 Km<sup>2</sup> com “perigo baixo” (TR de 100 anos).

As manchas de inundações do perímetro urbano encontram-se distribuídas por 18 setores censitários e 14 sub-bacias. Cabe ressaltar que as sub-bacias 17 e 18 que tem suas vazões direcionadas aos trechos 3 e 4 da drenagem, concentram respectivamente 34% (0,079 Km<sup>2</sup>) e 19% (0,045 Km<sup>2</sup>) da área total com perigo alto de inundação, 28% (0,089 Km<sup>2</sup>) e 20% (0,063 Km<sup>2</sup>) do perímetro total em situação de perigo médio, 27% (0,106 Km<sup>2</sup>) e 19% (0,075 Km<sup>2</sup>) com perigo baixo a ocorrência de inundações. Por sua vez, os trechos 2, 6 e 7 compõem os menores expoentes de área inundadas 3%, 3% e 1% respectivamente para a TR de 20 anos, 6%, 3% e 2% para a TR de 60 anos e 8%, 3% e 2% para a TR de 100 anos.



Enquanto que as áreas inundadas nos demais trechos correspondem a um total de 40% da área total em situação de alto perigo e 42% para as áreas totais com médio e baixo perigo. Nas áreas de drenagem correspondentes aos perímetros das sub-bacias rurais foi mensurado um total de área inundada equivalente a 0,269 Km<sup>2</sup> (TR de 20 anos), 0,387 Km<sup>2</sup> (TR de 60 anos) e 0,500 Km<sup>2</sup> (TR de 100 anos), como observa-se na Figura 2.

**Figura 2:** Mapa de perigo de inundação do perímetro da microbacia



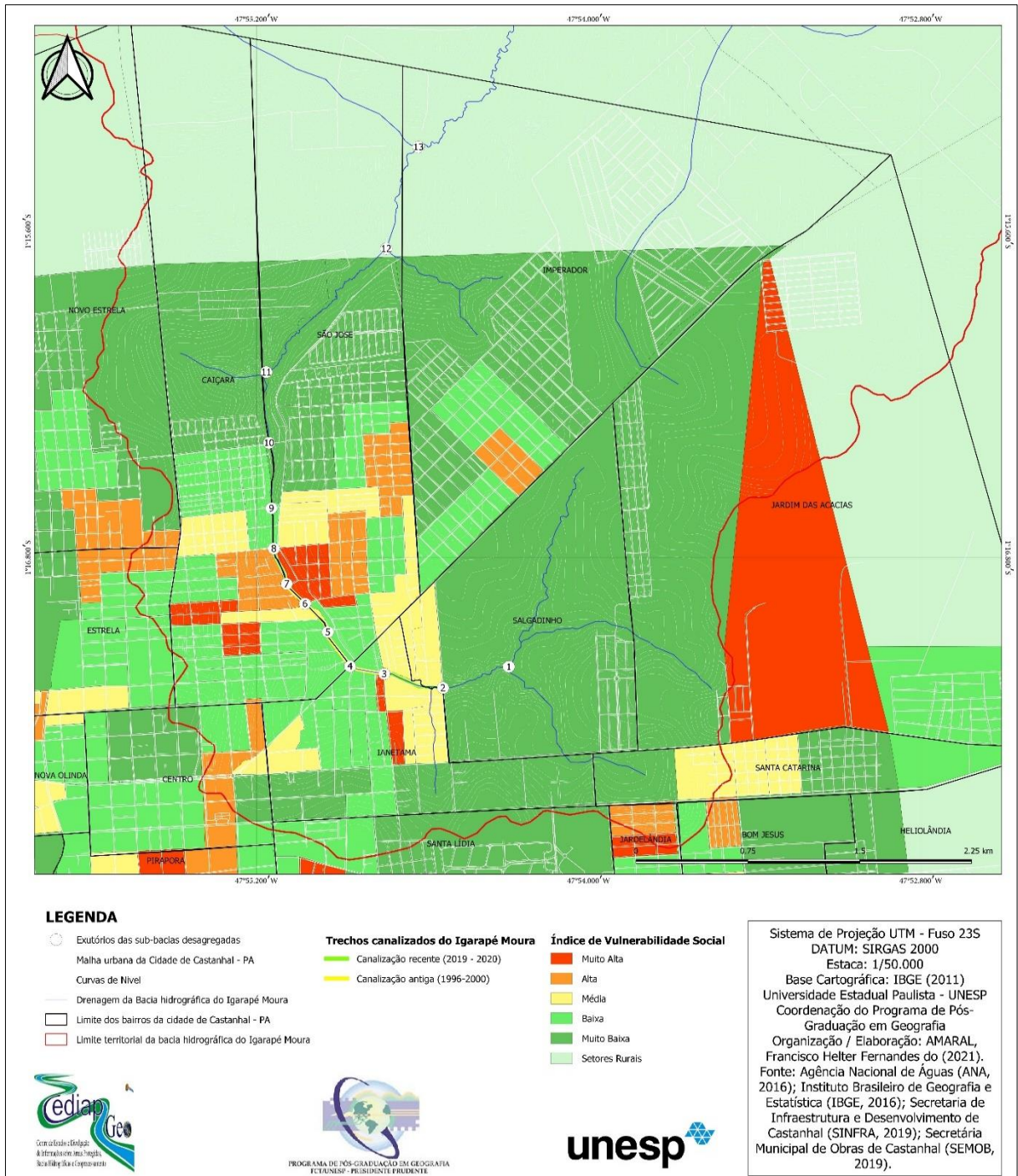
Fonte: Elaboração do primeiro autor.





Sobre a análise do índice de vulnerabilidade social, usando-se o agrupamento dos dados, de acordo com os valores escalonados entre os intervalos de maiores próximos de 1 e os de menores próximos de 0, foi observada uma considerável quantidade de setores censitários em situação de vulnerabilidade social discriminados em diferentes níveis, como pode-se observar na Figura 3.

**Figura 3:** Mapa de vulnerabilidade social do perímetro urbano da microbacia



Fonte: Elaboração do primeiro autor.



Assim, 7 setores foram classificados como sendo de “Muito Alta” vulnerabilidade social, 12 setores com “Alta” vulnerabilidade social, 10 setores com “Média”, 19 setores enquadrados como sendo de “Baixa” vulnerabilidade social e 17 como sendo de “Muito baixa” vulnerabilidade social, além de 7 setores desconsiderados pela ausência de informações e abrangência espacial. Os setores censitários classificados como sendo de Muito Alta vulnerabilidade social encontram-se distribuídos nos bairros: Caiçara, São José e Ianetama, abarcando as seguintes sub-bacias: sub-bacia 16 e 17, sub-bacias 18 e 20, sub-bacias 21 e 22.

Também pode-se verificar que o bairro Caiçara é composto por um total de 15 setores censitários, sendo 2 setores classificados como de “Muito Alta” vulnerabilidade social, 2 setores de “Alta” vulnerabilidade social, 2 setores de “Média” vulnerabilidade, 8 setores de “Baixa” vulnerabilidade e 1 setor de vulnerabilidade social “Muito Baixa”. Já o Bairro São José possui 14 setores censitários, onde 2 setores são de vulnerabilidade social “Muito Alta”, 4 setores de “Alta”, 3 setores apresentam vulnerabilidade social classificada como “Média”, 3 setores são de “Baixa” vulnerabilidade e 2 setores são de “Muito Baixa” vulnerabilidade social.

O bairro Ianetama, por sua vez, abarca um total de 9 setores censitários, com 1 setor de vulnerabilidade social “Muito Alta”, 3 setores de “Alta”, 3 de vulnerabilidade social “Baixa” e 2 de vulnerabilidade social “Muito Baixa”. Destaca-se ainda a presença de mancha de inundação dentro do bairro Salgadinho, que aparece composto por um único setor censitário classificado como de Vulnerabilidade social “Muito baixa”.

Além desses, o bairro Imperador também se encontra totalmente inserido na microbacia do Igarapé Moura, apesar de não possuir áreas em perigo de inundações, este demonstra uma situação de vulnerabilidade social que varia de “Alta” a “Muito Baixa”. Também cabe salienta a presença de fração dos bairros Centro, Santa Catarina, Estrela, Novo Estrela, Santa Lúcia, Oscar Reis e Bom Jesus dentro do perímetro da bacia, contudo estes não sofrem com a ocorrência de inundações provocadas pelo transbordamento do sistema de macrodrenagem do Igarapé Moura.

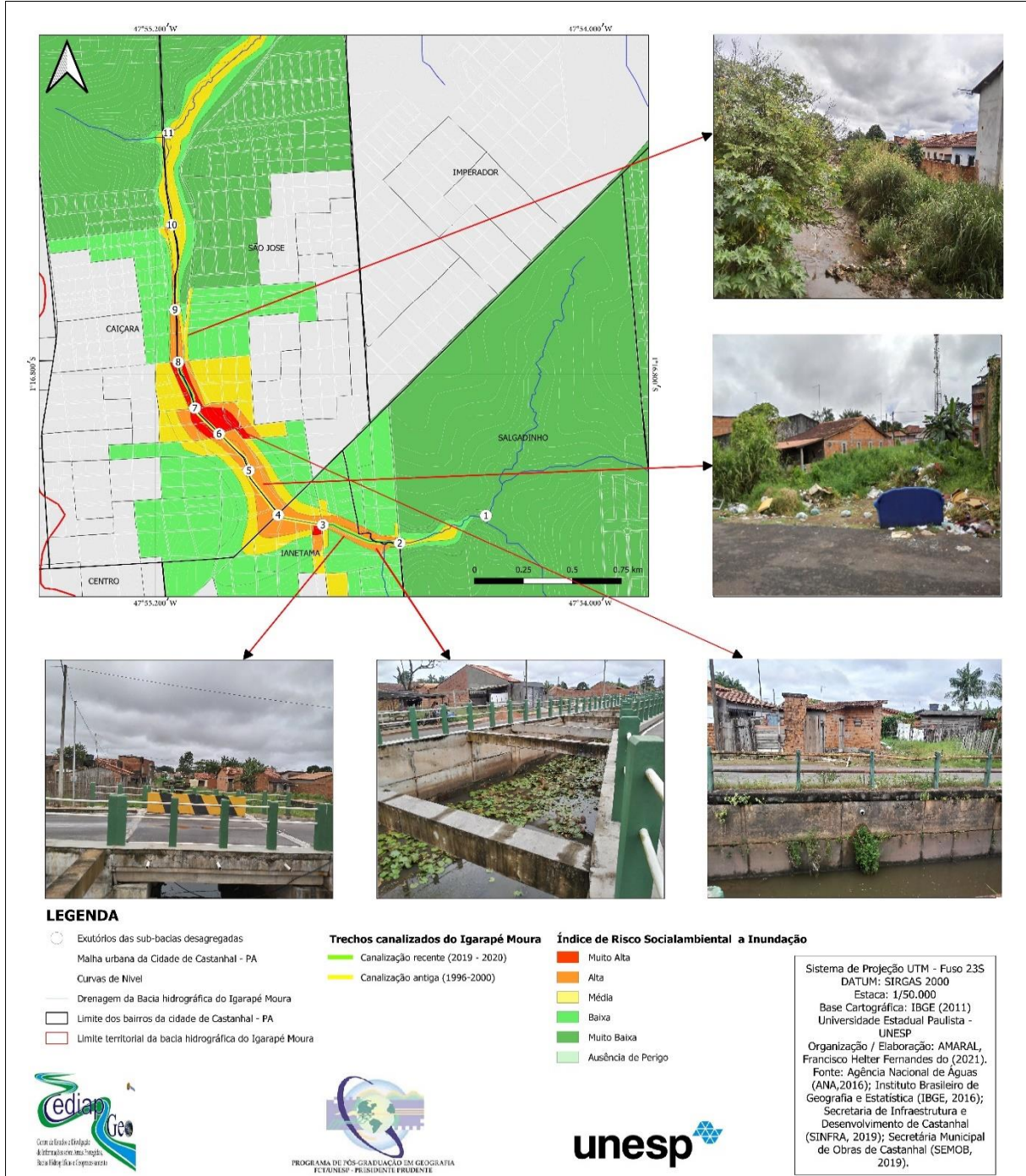
Sobre a análise do sistema socioambiental do perímetro urbano da microbacia do Igarapé Moura, observa-se que as ocorrências de transbordamento do canal de drenagem interferem de forma momentânea e moderadamente na relação sociedade-natureza. Nessa relação, uma parcela pouco expressiva da população que compõe os bairros: São José, Caiçara e Ianetama, Figura 4, encontram-se expostas ao convívio com o perigo das inundações, enquanto que uma parcela simbolicamente mais expressiva, mantém um sistema de





vulnerabilidade significativo, revelando um quadro de fragilidade social expressivo. Estes moradores encontram-se expostos aos efeitos sazonais das chuvas intensas características da região amazônica, em consonância com as condições precárias da estrutura de seus imóveis e a ausência de serviços de saneamento básicos.

**Figura 4:** Mapa do índice de risco socioambiental à inundação da área urbana da microbacia



Fonte: Elabora o do segundo autor.



As áreas com potencial de risco socioambiental à ocorrência de inundações foram classificadas em cinco níveis que variam de “Muito Alto” a “Muito Baixo” em acordo com os limites dos setores censitários de 2010. Dos 15 setores censitários que compõem o bairro Caiçara, 2 setores retratam um grau de risco socioambiental “Muito Alto” e 3 setores com “Alto”, diretamente influenciados pela exposição ao perigo, ou seja, são áreas suscetíveis a ocorrência de inundações no tempo de retorno de 20 anos.

O limite do bairro São José, engloba 14 setores censitários, dos quais 2 destes são classificados como de risco socioambiental “Muito Alto” e 3 com risco “Alto”, decorrente tanto das variáveis referentes ao perigo, quanto da vulnerabilidade social (Figura 8). Já o bairro Ianetama, aparece configurado por 1 setor com áreas de risco socioambiental “Muito Alto” e 3 setores de risco “Alto”, influenciados pelas variáveis (perigo e vulnerabilidade).

Ressalta-se o agravamento da situação devido à continua inserção de novas famílias dentro da linha de risco a inundações, especialmente nos bairros São José e Caiçara. Vale ressaltar o maior grau de exposição ao perigo nestes bairros, apesar do reduzido grau de vulnerabilidade, lhes conferindo melhores condições de infraestrutura para lidar com os eventos de extremos de precipitação e os transbordamentos do canal.

Os principais problemas urbanos derivados da relação entre os atributos sociais e naturais do Sistema Ambiental Urbano da microbacia, relacionado a variável precipitação, são: presença de inundações, enchentes e alagamentos, intensificação do escoamento superficial, impermeabilização do solo, desmatamento, assoreamento dos trechos naturais do igarapé, consequente carregamento e deposição de sedimentos nos canais de drenagem urbano; gerando obstrução nos sistemas de micro e macrodrenagem das águas pluviais, que ainda são intensificados pelo despejo de resíduos sólidos e do despejo de esgoto. Consequentemente, aumento do risco a proliferação de vetores causadores de doenças, gerando enormes desafios a administração pública local, incluindo os danos sociais e ambientais verificados na área de estudo.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os processos deflagradores responsáveis pelo aumento dos índices de vulnerabilidade social produzem os maiores níveis de riscos à inundações, verificados neste estudo. As variáveis sociais levantadas foram estruturadas para as escalas espaciais dos fenômenos de vulnerabilidade e de perigo a inundações se inter-relacionam no sistema ambiental urbano. Dessa forma, ao analisar os resultados decorrentes, observou-se que a vulnerabilidade social



dos indivíduos que compõem os diferentes setores censitários é agravada por um processo de inexistência ou precária introdução dos aparelhos urbanos, necessários às condições mínimas de moradia e habitação.

## REFERÊNCIAS

ASCE (1982). **Gravity Sanitar Sewer Design and construction**, ASCE Manual of No. 60, New York, NY.

AMORIM, R. R; REIS, C. H.; FERREIRA, C. Mapeamento dos Geossistemas e dos Sistemas Antrópicos como Subsídio ao Estudo de Áreas com Riscos a Inundações no Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé (Rio de Janeiro – Brasil). **Territorium**, n. 24, p. 89-114. 2017. Disponível em: < [http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros\\_publicados](http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados)>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ANRH, 2007. Cap. 5, p. 177-242.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998.

CANÇADO, V. L. **Consequências Econômicas das Inundações E Vulnerabilidade: Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação do Impacto nos Domicílios e na Cidade**. 2009. 417 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações**. São Carlos – SP, 2010, 191.f. tese (doutorado – Programa de pós-graduação e área de concentração em engenharia hidráulica e saneamento) – escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

GUASSELLI, L. A.; Oliveira, G. G de.; Quevedo, R. P.; Brubacher, J. P. Modelagem hidrológica e espacialização de áreas suscetíveis às inundações no município de Igrejinha, RS. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 28, p. 353-380, 2016.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Mapeamento da vulnerabilidade no município de Rio Negrinho-SC: uma proposta metodológica. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 10, p. 10-26, 2011.

KIRPICH, Z.P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, p.362, 1940.

MENDONÇA, F.; CUNHA, F. C. A.; LUIZ, G. C. problemática socioambiental urbana. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**. p.325-346, V.12, n.18, especial GT Anpege 2016.

MENDONÇA, F. S.A.U. Sistema Ambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: MENDONÇA, Francisco. (Org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: UFPR, 2004. p. 209-218.





- MENDONÇA, F. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos: a contingência climática, 2010. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/538/303>. Acesso em: 6 set. 2011.
- MCCUEN, R. et al. (1996), **Hydrology**, FHWA-AS-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- MCCARTHY, G. T. 1938. “**The unit hydrograph and flood routing.**” Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- MONTEIRO C. A. de F. O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 54p. (Série Teses e Monografias, 28)
- NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais: abrangência América do Sul.** São Paulo. Oficina de Textos, 2015.
- NUNES, H. K. B.; Aquino, C. M. S de. Vulnerabilidade socioambiental de setores censitários às margens do rio Poti, Teresina-Piauí-Brasil. **GeoTextos**, vol. 16, n. 1, p.181-207, 2020.
- OLIVEIRA, G. C. Classificação supervisionada como ferramenta para avaliação da dinâmica do uso e cobertura do solo. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p.924-935, 2014.
- PELLING, M. **The vulnerability of cities: natural disaster and social resilience**, London, Earthscan, 2003.
- PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; UNOPS – Oficina de Servicios para Proyectos de las Naciones Unidas. Proyecto regional de capacitación en gestión ambiental urbana. Guia metodológica de capacitación en gestión ambiental urbana para universidades de América Latina y el Caribe. Nova York: UNDP/UNOPS, 1997.
- SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Hucitec, 1993.
- SORRE, M. A adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. In: MEGALE, J. F. (Org.). Max Sorre. São Paulo: Ática, 1984. (Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46).
- SOUZA, R. O. R. de M. et al. Equações de Chuvas Intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.
- SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 196 pp.
- TOMINAGA, L. K. **Análise e mapeamento de risco**. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). Desastres Naturais: Conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p.147-160. Disponível em:< <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2020.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. ISSN 1806-9592.
- VEYRET, Y. RICHEMOND, N. M.. O Risco, os riscos. In: VEYRET, Y. (Org.) - **Os Riscos – o Homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, pp. 23-79. 2007
- VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. DA; RODRIGUES, T. E.; CARVALHO, E. J. M.; ROLIM, P. A. M.; SILVA, E. S.; PEREIRA, I. C. B. **Solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Castanhal, Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 27 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 119). Disponível em



XIV ENCONTRO NACIONAL DE  
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM  
**GEOGRAFIA**

5ª EDIÇÃO ONLINE

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57195/1/Doc119.pdf>> Acesso em: 15 nov. 2020.

ZANELLA, M. E. et al. Vulnerabilidade Socioambiental do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 317-332, 2013