

## MAPEAMENTO DA INUNDAÇÃO DE ABRIL DE 2010 PARA ANÁLISE DAS ÁREAS DE RISCO NA CIDADE DE SANTO AMARO, BAHIA

L. F. M. B. Borges<sup>1</sup>, A. S. Fontes<sup>2</sup>, D. M. C. Nascimento<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil

Comissão III - Cartografia

### RESUMO

A cidade de Santo Amaro - Bahia situa-se às margens do rio Subaé estando sujeita a sua variabilidade hidrológica. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo mapear a inundaç o do rio Suba e ocorrida em 14 de abril de 2010 como estrat gia para defini o de sua mancha e delineamento de  reas com maior risco de perdas   popula o. Por meio da modelagem matem tica hidrodin mica associado a um programa de Sistema de Informa es Geogr ficas (SIG), foi poss vel delimitar a mancha de inunda o. Com esta delimita o e a utiliza o dos dados da Grade Estat stica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estat stica (IBGE) do censo demogr fico de 2010, o resultado do mapeamento permitiu quantificar a mancha de inunda o em 85.2 hectares, contendo 12.382 habitantes e 2.747 domic lios em situa o de risco. No trabalho de campo realizado, identificou-se que as  reas de alto risco   inunda o compreendem bairros populosos como o Ideal, Bonfim, Caeira, Trapiche e o centro da Cidade – o Mercado Municipal. Portanto, o uso da cartografia tornou-se uma importante ferramenta de espacializa o e mensura o do evento.

**Palavras chave:** Mapeamento, Inunda o, Sistema de Informa es Geogr ficas, Santo Amaro - Bahia.

### ABSTRACT

The city of Santo Amaro - Bahia is located on the Suba e river banks and subject to its hydrological variability. Thus, the present work has the objective of mapping the Suba e river flood occurred on April 14, 2010 as a strategy to define its spot and delineate areas with greater risk of losses to the population. Through the hydrodynamic mathematical modeling associated to a Geographic Information System (GIS) program, it was possible to delimit the floodplain. With this delimitation and according to database from the Statistical Grid of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) of the 2010 demographic census, the result of the mapping allowed to quantify the floodplain in 85.2 hectares, containing 12.382 inhabitants and 2.747 households in a risk situation. In the fieldwork, it was identified that the higher risk areas to flooding are populous neighborhoods like Ideal, Bonfim, Caeira, Trapiche and the center of the City - the Municipal Market. Therefore, the use of cartography has become an important tool for spatialization and measurement of the event.

**Keywords:** Mapping, Flooding, Geographic Information System, Santo Amaro - Bahia.

### 1- INTRODU O

As cidades localizadas as margens de curso d' gua est o sujeitas a sua variabilidade hidrol gica, o que pode impor significativos preju zos quando o planejamento urbano n o contempla os limites da calha de inunda o desse rio. A delimita o das  reas afetadas por eventos extremos, a exemplo das inunda es, pode ajudar a gest o p blica a minimizar os seus efeitos e organizar de forma mais adequada o uso e ocupa o dessas margens.

O processo de urbaniza o da cidade de Santo Amaro   extremamente antigo e se deu  s margens do

rio Suba e, ocupando sua plan cie de inunda o situada praticamente a jusante do rio, extinguindo matas e ecossistemas de manguezais que al m de ocasionar diversos tipos de impactos ambientais, aumenta a frequ ncia e intensidade das inunda es nestas  reas.

As imagens obtidas por meio do sensoriamento remoto proporcionam uma vis o de conjunto da paisagem, que permite realizar estudos regionais e integrados, evidenciando a din mica e a transforma o dos ambientes; neste caso, destacam-se os impactos causados pelo fen meno da inunda o (FLORENZANO, 2002) na  rea urbana de Santo Amaro – Bahia. Concomitantemente relacionada com o

sensoriamento remoto, a modelagem hidrodinâmica nos possibilita representar o comportamento de um evento ocorrido por meio de equações matemáticas que proporciona a simulação e tomar conhecimento do processo dinâmico do sistema. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi mapear a inundação do rio Subaé ocorrida em 14 de abril de 2010 como estratégia para definição de sua mancha e delineamento de áreas com maior risco de perdas à população.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Santo Amaro localiza-se no Recôncavo baiano à 75 km da capital, Salvador, entre as coordenadas geográficas 12° 22' a 12° 43' latitude Sul e 38° 38' a 38° 52' longitude Oeste de Greenwich (Figura 1).

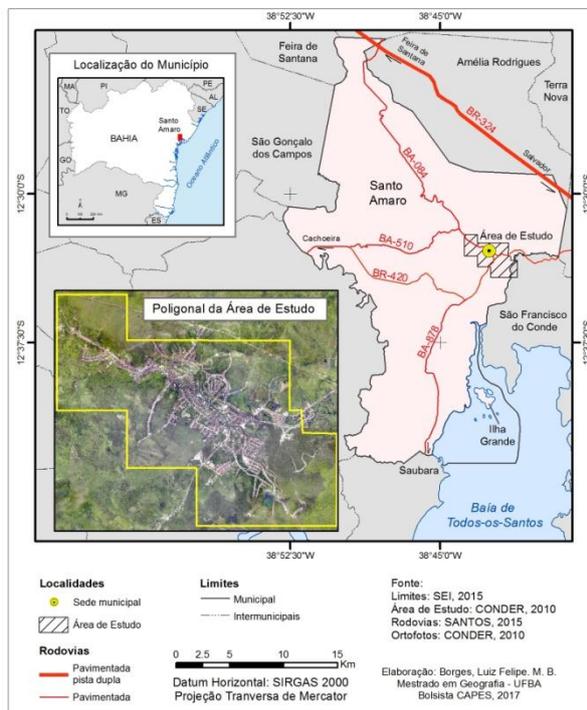


Figura 1: Localização da área de estudo.

Sua área compreende aproximadamente 493 km<sup>2</sup>, na qual dividem-se em três distritos: Campinhos, Santo Amaro e Acupe; sua população total, portanto, são 57.800 habitantes, ou seja, uma densidade demográfica de 117 hab/km<sup>2</sup>; deste universo, 36.844 habitantes vivem na cidade de Santo Amaro (IBGE, 2010). Isso significa que do total de habitantes, 63,7% moram na cidade.

O clima de Santo Amaro é do tipo úmido, com chuvas concentradas nos meses de abril a julho. A temperatura média anual é de 24,6°C, e a pluviosidade medial anual é 1.687 mm (SEI, 2010). Do ponto de vista geológico-geomorfológico, a cidade de Santo Amaro caracteriza-se por depósitos fluviais indiferenciados, bacia sedimentar do Recôncavo e zona úmida do tipo manguezal (ESQUIVEL, 2016).

Para definir a mancha de inundação por meio da modelagem hidrológica são necessários informações geométricas, parâmetros hidrológicos, condições de contorno e condições iniciais. Para representar a geometria foram obtidas seções transversais ao longo do trecho do rio, a partir das informações do Modelo Digital de Terreno (MDT). Para criar e representar a superfície do MDT em ambiente SIG, foi gerado o modelo de rede triangular irregular (TIN – *Triangulated irregular networks*) por meio das curvas de nível com equidistância de 1 metro e 2753 pontos cotados de altimetria (CONDER, 2010).

A modelagem hidrodinâmica foi executada pelos *softwares* HEC-RAS 4.0.1 e extensão do HEC-Geo-RAS utilizada em ambiente SIG o ArcGis 10.1. No SIG foram traçadas 52 seções transversais com intervalos uniformes de 130 metros de distância e 250 metros de comprimento, obtidas do MDT; de posse das informações geométricas, os dados foram exportados para o HEC-RAS, onde foram realizados os procedimentos hidrológicos para simulação, como: definição da vazão, parâmetros e condições de contorno. Os parâmetros de entrada utilizados na modelagem foram a vazão média diária máxima (disponibilizada no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA – Estação fluviométrica 51060100 localizada a montante da cidade), coeficiente de rugosidade de *Manning*, segundo a tabela de *Chow* (1959), e dimensões do rio; a condição de contorno foi a declividade média do trecho do rio Subaé (0.03 m/m). Por não existir dados de monitoramento da vazão do rio no trecho estudado não foi possível calibrar o modelo.

Como o valor disponível de vazão é apenas a média diária máxima e entendendo ser este trabalho uma estimativa de alcance da cheia num cenário problemático não monitorado, foi considerado o regime de fluxo permanente, onde a energia ao longo do canal apresentou-se conservada sob um regime misto. Tal energia foi gerada pelo acúmulo de chuva em 2 dias, que segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, 2017, registrou 124 mm. Após a simulação no programa, o arquivo foi reexportado para o SIG ArcGis para simulação e delimitação da mancha de inundação. Para efeito de visualização, colocou-se como plano de fundo, ortofotos da área urbana de Santo Amaro (CONDER, 2010), a fim de ter estimativa da dimensão da inundação.

Foram aplicados questionários construídos por meio do método Amostragem estratificada sistemática não alinhada, recomendada por Gerardi e Silva (1981), quando não se têm conhecimento preciso da distribuição geográfica de um fenômeno que pretende-se amostrar. Sobre uma base cartográfica com sistema de coordenadas bem definidas e com cotas altimétricas conhecidas foi estabelecido uma malha quadriculada com intervalos iguais de 100m x 100m, onde cada

ponto consistiu em um questionário. Ao total foram gerados 82 pontos/questionários.

Para estimar o impacto da inundação sobre a população foi sobreposta a delimitação da mancha de inundação com as informações da grade estatística e de setores censitários do Censo Demográfico do IBGE.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2, apresenta a mancha de inundação de acordo com os resultados da simulação, atingindo 33.6% da população da cidade e uma considerável área da cidade – 85,2 hectares, no qual o nível d'água variou em uma profundidade de até 4,4 metros. Essa cheia apresenta um tempo de retorno de 18 anos, considerando a série histórica de 1989 a 2016.

A inundação simulada atingiu 12.382 habitantes correspondendo a 2.747 domicílios, demonstrando prejuízos e perdas de caráter social e econômico.

O mapeamento da delimitação da mancha de inundação foi validado *in loco*, por meio de questionários à população, entrevistas à gestores e técnicos da prefeitura, coleta de coordenadas de cotas conhecidas que foram atingidas, bem como, cotas que não foram influenciadas pela inundação. Verificou-se em campo, que os bairros mais prejudicados são: Ideal, Bonfim, Caiera, Trapiche e o centro da Cidade na altura do Mercado Municipal. Vale destacar que estes bairros, localizam-se às margens do rio Subaé e possuem precária infraestrutura urbana para lidar com tais eventos; tendo como característica, bairros populosos. Conforme os setores censitários (IBGE, 2010a) da Figura 3, os bairros citados possuem alta densidade populacional, variando entre 800 a 1000 habitantes nos setores localizados a estes bairros. Ressalta-se que o cenário é ainda mais preocupante, pois os dados relacionam-se com residentes, isso significa que no centro da cidade, próximo ao Mercado Municipal e suas arredondezas, há um grande

movimento pendular diário, pois é ali que está concentrado comércio e serviços. Constatou-se que as inundações são problemas recorrentes e eminente que trazem perdas de cunho socioeconômico atingindo residentes, comerciantes e prestadores de serviço, alterando toda a dinâmica da cidade.

### 4- CONCLUSÕES

Fica evidente que a interação entre SIG e modelagem hidrodinâmica permitiu representar o processo e comportamento do sistema hídrico, tendo como objetivo simular a inundação ocorrida em 2010, que, mesmo havendo dificuldade com obtenção de dados consistentes e impossibilidade de calibração, este trabalho apresenta um resultado preliminar do desenvolvimento de pesquisa sobre as inundações em Santo Amaro. Proporcionou-se então, uma estimativa do fenômeno na cidade com reflexo nos domicílios residenciais e comerciais localizados nas margens e próximos a elas.

A cheia selecionada mostra-se adequada para avaliação da área inundada tanto pelo seu período de retorno como pelos efeitos que causou. Entretanto, as análises realizadas ressaltam a importância de monitoramento desses eventos extremos para que o planejamento urbano seja efetivado. Existem ferramentas e metodologias já consolidadas e apropriadas, sendo o maior entrave a disponibilidade de informação para validar os resultados.

Em relação a simulação destaca-se que utilização das ortofotos foi essencial no processo de pesquisa, pois, permitiu a visualização da mancha de inundação na cidade Santo Amaro - BA, sendo possível estimar a população atingida. A partir de uma calibração adequada poderá ser realizados cenários de ocorrência de eventos extremos com diferentes tempos de retorno para estabelecimento de faixas de inundação e vulnerabilidade da população.

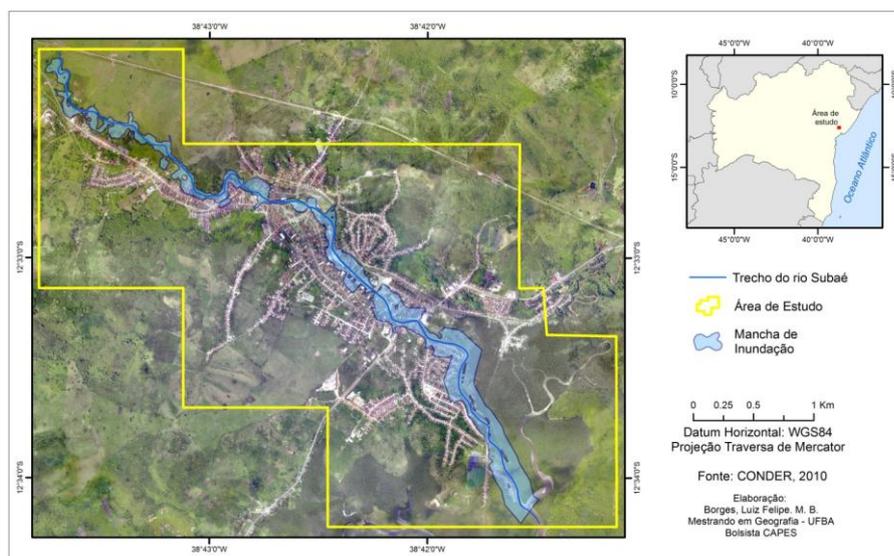


Figura 2: Delimitação da mancha de inundação sob uma vazão de 125.6 m<sup>3</sup>/s em Santo Amaro, Bahia.

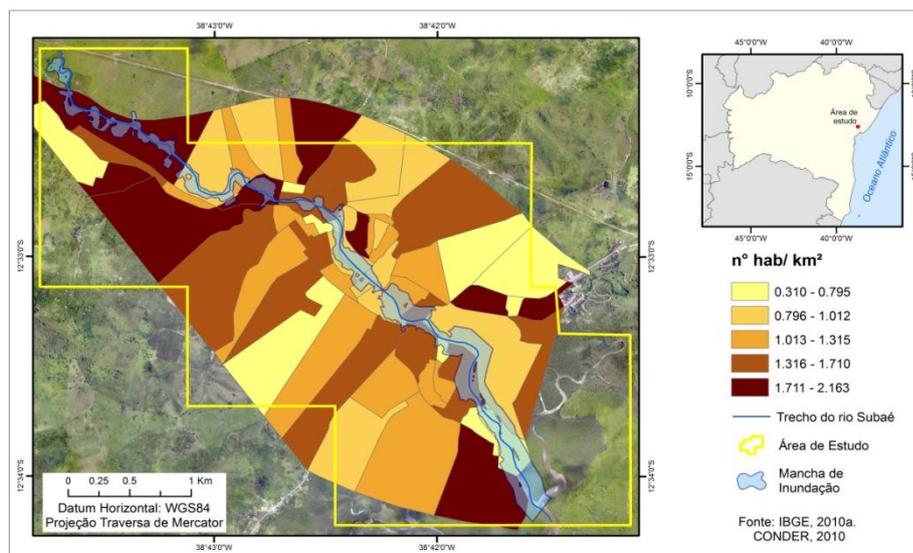


Figura 3: Densidade demográfica por setores censitários da cidade de Santo Amaro – Bahia. Elaboração própria, 2017.

### AGRADECIMENTOS

Ao pesquisador e estudante de Geografia/UFBA, George Gonçalves Machado pela contribuição e sistematização dos dados geoespaciais. Ao Laboratório de Cartografia (LACAR) e Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia (POSGEO/UFBA). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro através de bolsa de mestrado. A Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia pela disponibilização dos dados geoespaciais e ortofotos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Planilha de dados de Vazão e Cota da estação 51060100**. Brasília, 2017.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.

CHOW, Ven T. **Open channel hydraulics**. McGraw-Hill Book Company, Inc; New York, 1959.

CONDER. **Base planialtimétrica de Santo Amaro**. Sistemas de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia – INFORMS. Salvador, 2010.

\_\_\_\_\_. **Ortofoto da Região Metropolitana de Salvador e Recôncavo Baiano – 60 cm**. Sistemas de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia – INFORMS. Salvador, 2010.

ESQUIVEL, Marcus Santos. **A zona costeira dos municípios do Litoral Norte e entorno da Baía de Todos os Santos – Estado da Bahia: implicações para gestão ambiental**. 2016. 153 f. Tese (Doutorado em Geologia)–Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

IBGE. **Setores Censitários do Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a

IBGE. **Grade Estatística do Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b.

SEI. **Estatísticas dos Municípios Baianos: território de identidade Recôncavo**. Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2010.v. 13. 382 p.