

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A INUNDAÇÕES COM IMAGENS ALOS PALSAR: ESTUDO DE CASO EM BELÉM (PA)

Mapping of flood risk areas with alos palsar images: a case study in Belém (PA)

Cartographie des zones à risque d'inondation avec des images alos palsar : une étude de cas à Belém (PA)

Márcia Rafaela Souza Vieira
Universidade da Amazônia
mrafaelaasouza@gmail.com

Marco Valério de Albuquerque Vinagre
Universidade da Amazônia
valeriovinagre@gmail.com

Marco Aurélio Arbage Lobo
Universidade da Amazônia
lobo2502@gmail.com

Alberto Carlos de Melo Lima
Universidade Estadual do Pará
acmlima@gmail.com

Márcio José Moutinho da Ponte
Universidade Federal do Oeste do Pará
marcio.ponte@ufopa.edu.br

Resumo

A ocorrência de inundações em centros urbanos e periferias tem se tornado mais intensa e comum nas grandes capitais brasileiras. As inundações urbanas representam grandes impactos sobre a sociedade e podem ocorrer por motivos de urbanização ou de inundação natural da várzea ribeirinha. Nesse contexto, surge a necessidade de utilização de ferramentas tecnológicas para o planejamento de ações de prevenção e controle dessas inundações. Como é comum observar diversas ruas de Belém inundadas devido os eventos de maré alta, o presente estudo teve o objetivo mapear áreas de risco a inundação desta cidade. Para isso, foi utilizado no programa QGIS o Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR que possui resolução espacial de 12,5 metros. A utilização desses recursos para o mapeamento de inundações mostra-se uma ferramenta tecnológica eficaz e de suma importância para o mapeamento de áreas de risco desses eventos adversos na cidade de Belém.

Palavras-chaves: Inundações; ALOS PALSAR; Maré Alta.

Abstract

The occurrence of flooding in urban centers and peripheries has become more intense and common in the Brazilian capitals. Urban floods represent major impacts on society and may occur due to urbanization or natural flooding of the riverside plain. In this context, is needed to use technological tools to plan actions to prevent and control floodings. Knowing that it is constantly observed in the streets of Belém, flooded by high tide events, the study objective is to map flood risk areas in this city. For that purpose, the Digital Elevation Model (DEM) of the ALOS PALSAR satellite, which has a spatial resolution of 12.5 meters, was used in the QGIS software, . The use of these resources for flood mapping proves to be an effective technological tool and of utmost importance for mapping risk areas of these flooding events in the city of Belém.

Keywords: Floodings; QGIS; High tide.

Résumé

Les inondations dans les centres urbains et les périphéries sont devenues plus intenses et plus fréquentes dans les capitales brésiliennes. Les inondations urbaines ont un impact important sur la société et peuvent être dues à l'urbanisation ou à l'inondation naturelle de la plaine riveraine. Dans ce contexte, il est nécessaire d'utiliser des outils technologiques pour planifier des actions de prévention et de contrôle des ces inondations. Puisqu'il est courant d'observer de nombreuses rues de la ville de Belém inondées à cause des événements de marée haute, cette étude avait pour l'objectif cartographier les zones à risque d'inondation dans cette ville. Pour cela, a été utilisé dans le logiciel QGIS le Modèle Digital d'Élévation (MDE) du satellite ALOS PALSAR, qui a une résolution spatiale de 12,5 mètres. L'utilisation ces ressources pour la cartographie des inondations se révèle être un outil technologique efficace et de la toute première importance pour la cartographie des zones à risque de ces événements indésirables dans la ville de Belém.

Mots-clés: Inondations; QGIS; Marée Haute.

Introdução

Nos últimos anos, a ocorrência de inundações em centros urbanos e periferias tem se tornado mais intensa e comum nas grandes capitais brasileiras (TUCCI e BERTONI, 2003, p. 46). As capitais situadas na região amazônica possuem os mais altos índices pluviométricos do país e, de acordo com Vinagre, Lima e Lima Júnior. (2015, p. 361), diversos problemas são encontrados nos centros urbanos relacionados à falta de sistemas de drenagem pluvial eficientes. Cenário que está intimamente relacionado à insuficiência e à ineficácia de políticas públicas de desenvolvimento urbano e planejamento da ocupação do solo.

O crescimento de muitas cidades brasileiras possui marcas de desorganização e não pondera os parâmetros de qualidade ambiental. Por conseguinte, a vida da população

acaba sendo afetada por diversos eventos, como deslizamentos de terra, enchentes e formação de ilhas de calor (ABREU e ANDRADE, 2019, p. 30).

Segundo Canholi (1999), um dos maiores desafios da gestão pública é solucionar problemas relacionados ao crescimento urbano, uma vez que a ocupação desordenada pode resultar em ocupação de áreas ribeirinhas, bem como na impermeabilização crescente e excessiva do solo e em práticas comuns e muitas vezes desnecessárias como a canalização de rios e córregos.

Para Vinagre, Lima e Lima Júnior. (2015, p. 361), os resultados oriundos da combinação de altos índices pluviométricos da região amazônica, altas cotas de maré com o mau funcionamento de sistemas de macrodrenagem e microdrenagem, resultam em constantes enchentes, alagamentos e alterações nos sistemas de tráfego de veículos, representando diversos prejuízos econômicos à região. As enchentes urbanas representam grandes impactos sobre a sociedade, a quais podem ocorrer por motivos de urbanização ou de inundação natural da várzea ribeirinha (TUCCI e BERTONI, 2003, p. 54).

Nesse contexto, surge a grande necessidade de utilização de ferramentas tecnológicas para o planejamento de ações de prevenção e controle de enchentes e inundações. Mark et al. (2004, p.285) afirmaram que o surgimento de novas tecnologias e o aprimoramento de técnicas em cidades de países desenvolvidos demonstraram que a utilização de softwares possibilita avanços significativos na solução de problemas locais de inundações. Nesse aspecto, a utilização de softwares livres para geoprocessamento para simulação de enchentes mostra-se uma ferramenta de suma importância para o mapeamento de áreas de risco.

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, possui características de ocupação típicas da região amazônica, onde as cidades crescem e se desenvolvem as margens dos rios, no caso da capital o rio Guamá e a Baía do Guajará margeiam a cidade. Belém é marcada por uma intensa hidrografia e grande parte do território se encontra em áreas mais baixas que as cotas atingidas pelo rio, o que resulta no extenso histórico de inundações na cidade como relatado por Pegado et al. (2014, p.72) com registros de inundação desde a década de 70, a despeito da realização de importantes obras de macrodrenagem de canais urbanos, como a macrodrenagem da Bacia do Una e a da montante do Igarapé (palavra de origem indígena para denominar rio de pequeno porte) Tucunduba, além de outras em realização.

Tendo em vista os impactos sociais causados pelas enchentes e inundações à população, a ocupação desordenada dos centros urbanos e a carência de medidas não estruturais para o

controle de impactos na gestão de drenagem urbana, este trabalho tem como objetivo realizar o mapeamento de áreas que sofrem com enchentes em Belém do Pará, através do *software* de geoprocessamento QGIS, um programa gerenciador de sistemas de informações geográficas de código aberto e gratuito, utilizando imagem do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) que possui a bordo o sensor de micro-ondas *Phased Arrayed type L-Band SAR* (PALSAR), especificamente o seu Modelo Digital de Elevação (MDE) que resolução espacial de 12,5 metros.

Enchentes e inundações urbanas

A enchente se caracteriza pela elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem (sistema natural ou artificial) devido ao aumento da vazão ou descarga. Já o processo de elevação que acarreta o extravasamento das águas do canal de drenagem, para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) é chamado de inundação, ou seja, é quando a enchente atinge cota acima do seu nível máximo do rio e acaba ocupando áreas ocupadas pela população, áreas de transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros. (BRASIL, 2007, p. 91; TUCCI, 2003, p. 45).

Os alagamentos são acúmulos de água em áreas urbanas decorrentes de deficiências no sistema de drenagem e que podem ou não ter relação com os processos de natureza fluvial. (BRASIL, 2007, p. 97). A urbanização interfere impermeabilizando o solo acelerando assim o escoamento superficial das águas pluviais e esse aumento da quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem muitas vezes não é comportado (TUCCI, 2012, p. 16).

Em um estudo sobre inundação urbanas, Tucci (2007, p. 16) indica que as enchentes urbanas estão entre os principais impactos sobre a sociedade. Esses impactos são ocasionados pela urbanização ou pela inundação natural da várzea ribeirinha que atingem a população que ocupa os leitos de rios por conta do planejamento deficiente e ineficaz do uso do solo.

Sobre os riscos das inundações Santis e Mendonça (2000, p. 05) indicam que as ocupações do solo inadequadas geram sérios problemas ao poder público, comércio, indústrias e principalmente à população que habita as áreas mais baixas e zonas de risco que podem ter grandes prejuízos, sendo muitos destes irreparáveis como perda de vidas, objetos materiais e até mesmo obras de valor histórico.

Existem em Belém áreas de expressivo porte localizadas abaixo da cota altimétrica de quatro metros e próximas a cursos d'água, que são as chamadas localmente "baixadas", grande parte das quais constituindo assentamentos habitacionais precários. Essas áreas geralmente possuem alta densidade demográfica e tendem a inundar devido ao volume de chuvas ou a cheia do rio mais próximo, o que gera significativo impacto social envolvendo populações de baixa renda (ARAÚJO et al., 2012, p. 02). Para Santos e Rocha (2013, p. 34), a ocupação dessas áreas periféricas de baixadas dificulta a ampliação das redes de infraestrutura e demanda alto custo no atendimento às necessidades dos seus moradores.

Os aspectos geomorfológicos e climáticos da cidade de Belém convergem para uma situação contínua de risco ambiental: a ocorrência de inundações, uma vez que fatores como áreas de várzea, alto índice pluviométrico e as modificações decorrentes da urbanização (impermeabilização, modificação da topográfica, deficiência no saneamento básico) favorecem a ocorrência desses eventos (PONTES et al., 2017, p. 288). Santis e Mendonça (2000, p. 05) afirmam que não existem rios sem enchentes e não é possível impedir as chuvas fortes e concentradas; portanto, é necessário desenvolver estratégias para enfrentamento desses eventos visando a minimizar os efeitos catastróficos.

O controle das inundações é classificado por Tucci (2007, p. 20) em duas medidas: não-estruturais e estruturais. As medidas não-estruturais utilizam a prevenção, como o alerta de inundação e zoneamento das áreas de risco com o preparo de mapas de inundação. Isso faz com que os prejuízos sejam reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. Já as medidas estruturais utilizam o controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, que exigem um maior aporte econômico e geralmente não são viáveis, de acordo com Tucci (2012, p. 23).

Tucci (2007, p. 22) alerta que a medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis que futuramente podem resultar em danos significativos e geralmente essas medidas ocorrem em áreas específicas, que acabam apenas transferindo o problema para outro local da bacia hidrográfica. Entretanto, as medidas não-estruturais, podem reduzir consideravelmente os prejuízos com um custo menor.

O zoneamento, segundo Oliveira (1999, p. 69), tem o papel de restringir a ocupação com um conjunto de regras, visando à redução futura de perdas materiais e humanas em decorrência das grandes cheias dos rios. O zoneamento pode classificar as áreas da cidade como sendo de maior e menor risco de inundação; além disso, deve estar no processo

formulação do Plano Diretor Urbano e integrar o plano de Desenvolvimento Urbano. Oliveira (1999, p. 71), segue afirmando a importância do zoneamento, que representa um elemento determinante para um conhecimento prévio da vulnerabilidade do meio frente à intervenção antrópica.

Uso de geotecnologias

São consideradas geotecnologias os sistemas de informação geográfica, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global e a topografia. Esses são conjuntos de tecnologia que possibilitam coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica (ROSA, 2005, p.16).

Em várias cidades brasileiras a aplicação da cartografia na identificação e diagnóstico de áreas de risco tem sido muito explorada, gerando o surgimento de metodologias, que em geral, combinam dados e informações como litologia, declividade, hipsometria, e uso do solo. Portanto, com a cartografia é possível desenvolver mapas integrando aspectos físicos, ambientais e sociais que interferem na dinâmica das inundações, o que a torna a cartografia uma ferramenta importante na gestão do risco (HORA e GOMES, 2009, p. 60).

O Modelo Digital de Elevação é uma ferramenta da cartografia digital, de acordo com Mark et al. (2004, p. 299) representa dados de elevação da terra que são essenciais para simulação de inundações urbanas, é usado como uma ferramenta para fornecer informações de dados e exibe resultados de simulação. Além disso, o autor afirma que os mapas de inundação podem ser gerados por sobreposição da superfície da água e o MDE.

Souza e Oliveira (2018) utilizam imagens do satélite ALOS em seu estudo sobre mapeamento de declividade do litoral norte paulista e justificam o uso do satélite pela possibilidade de aquisição de dados topográficos reais da superfície terrestre, pois a imagens não sofrem interferências de nuvens, do dossel vegetal e não dependem de iluminação natural ou de emissão própria do alvo.

Mantovani e Bacani (2018) propõem uma metodologia para mapeamento de áreas suscetíveis a inundação em um estudo de caso na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS utilizando dados de altimetria do ALOS PALSAR e indicam que os procedimentos com as geotecnologias foram eficazes, podendo auxiliar em ações de planejamento.

Localização e caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado na cidade de Belém, que possui uma área territorial correspondente a 1.059,458 km² e população estimada em 2019 de 1.492.745 pessoas, com densidade demográfica de 1.315,26 hab./km², de acordo com dados o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2011 e 2019a). A cidade está localizada ao norte do estado do Pará às margens do Rio Guamá e da Baía do Guajará. Possui uma topografia com cotas baixas e pouco ondulada. Parte significativa de Belém encontra-se a uma altitude de até 4 metros, conforme é apresentado no mapa hipsométrico na Figura 1, que mostra também a localização e os cursos d'água limítrofes à área urbana.

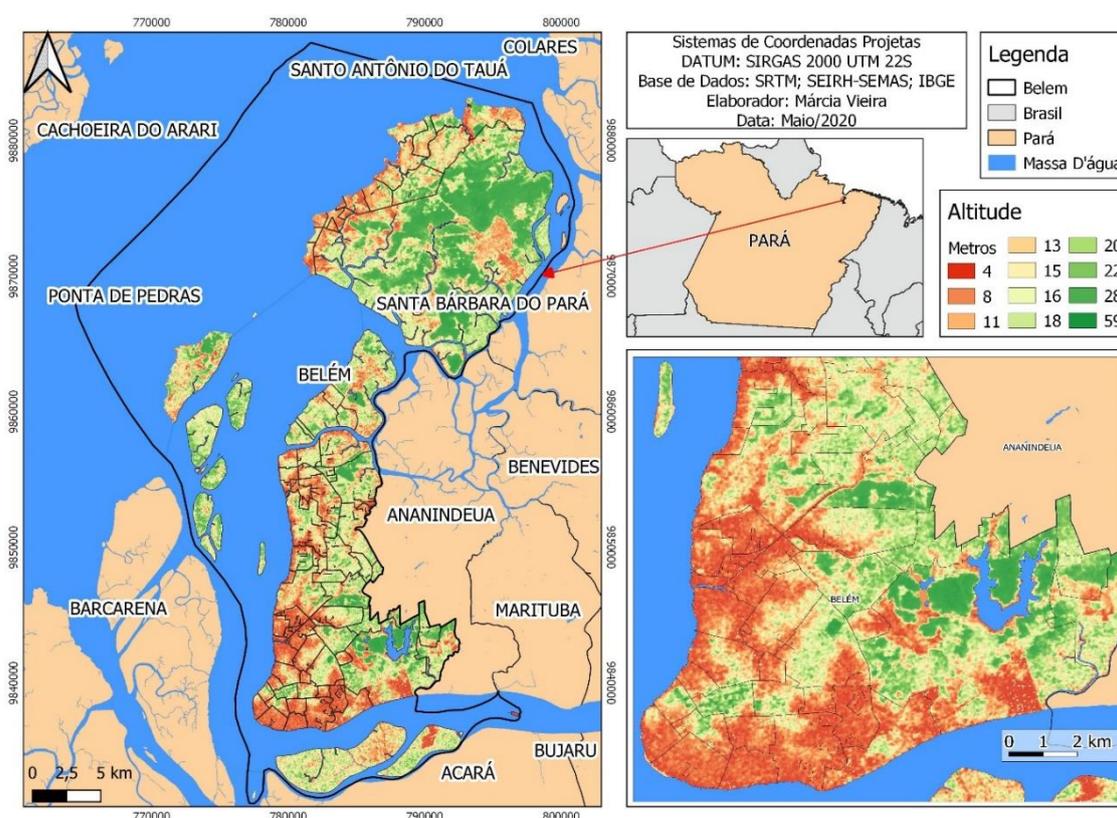


Figura 1 – Mapa de localização e de hipsometria da cidade de Belém/PA. Fonte: Elaborado pelos autores (2020) com base cartográfica do United States Geological Survey – USGS (2015), do IBGE (2019b) e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS (2019)

De acordo com Francischett e Biz (2020, p. 03) a hipsometria é considerada uma técnica importante para o estudo da elevação do terreno, realizando a representação do relevo utilizando cores.

Materiais e métodos

Para a elaboração do mapa de áreas de risco de inundação da cidade de Belém, foram utilizados arquivos *rasters* (formato .tiff) oriundos do satélite ALOS PALSAR lançado em 2006 pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) e tem resolução espacial de 12,5 metros. A imagem utilizada é datada de março de 2011 e foi obtida no banco de dados do *Alaska Satellite Facility* (ASF) que faz parte do Instituto Geofísico da Universidade do Alasca Fairbanks. O arquivo *raster* baixado é um Modelo Digital de Elevação (MDE). O software MAPGEO 2015 foi empregado para transformação de medidas altimétricas. Todos os materiais foram adicionados e tratados no *software* QGIS 3.10. O fluxograma da

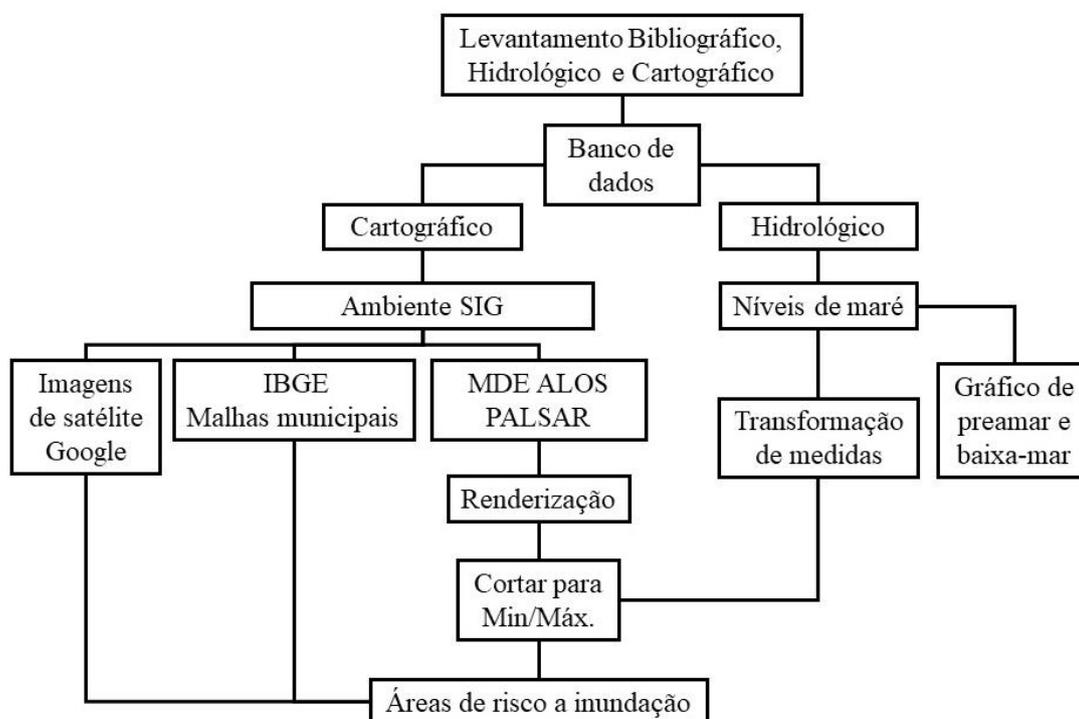


Figura 2 apresenta cada etapa realizada para criação dos mapas da Figura 5 e da Figura 6.

Figura 2 – Fluxograma metodológico. Fonte: Autores (2020).

Para conhecimento de marés de Belém, informação fundamental para a delimitação das áreas de risco de inundação, foi necessário realizar um estudo de máximas preamar e mínimas baixa-mar que ocorreram na cidade no período de 13 anos, a partir de dados que foram obtidos no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a série histórica utilizada é o total disponibilizado pelo centro. Após a compilação, os dados encontrados foram adicionados

a uma planilha Excel para posteriormente gerar o gráfico apresentado na Figura 4. É importante ressaltar que, em todos anos da série, os registros apresentados ocorreram no mês de março.

Após construída a base de dados, foi aberto um projeto no QGIS para iniciar a elaboração no mapa. As primeiras camadas adicionadas foram as imagens do Google Satélite e Google Road, que serviram para visualizar a cidade de Belém, com uma definição de imagem satisfatória.

Feito isso, o próximo passo foi adicionar a camada de MDE previamente baixada, que recebeu o tratamento necessário para ajustar o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para SIRGAS 2000/UTM zona 22S. Em seguida, foi selecionado o tipo de renderização como banda simples cinza e a opção “cortar para MinMax”. Nesse momento foi colocada a cota máxima de maré para Belém, equivalente a 3,9 metros, de acordo com o CPTEC. Esses passos definiram no MDE a exibição somente da elevação máxima de maré, como colorido em vermelho na Figura 5.

É importante ressaltar que houve a necessidade de uma transformação de medidas, uma vez que, as cotas dos níveis de maré estão em altitude Ortométrica (referenciada ao geóide ou nível médio do mar) e a construção do mapa requereu a aplicação da altitude Geométrica (referenciada ao elipsoide) presente no MDE.

Resultados e discussão

Frequentemente é possível observar as ruas de Belém inundadas pelos os eventos de maré alta, inclusive na área de comercial central da cidade, como exposto na Figura 3, onde se vê ao fundo o Mercado do Ver-o-Peso, símbolo e ponto turístico de Belém, evento que ocorreu em abril de 2019 e com registro de maré de 3,5 m.



Figura 3 - Enchente com cota de 3,5 m no Ver-o-Peso. Fonte: Jornal O Liberal (2019).

É possível observar na Figura 4 o comportamento das marés com o registro das máximas preamar e mínimas baixa-mar que ocorreram nos últimos 13 anos, que é o total da série histórica disponibilizada pelo CPTEC.

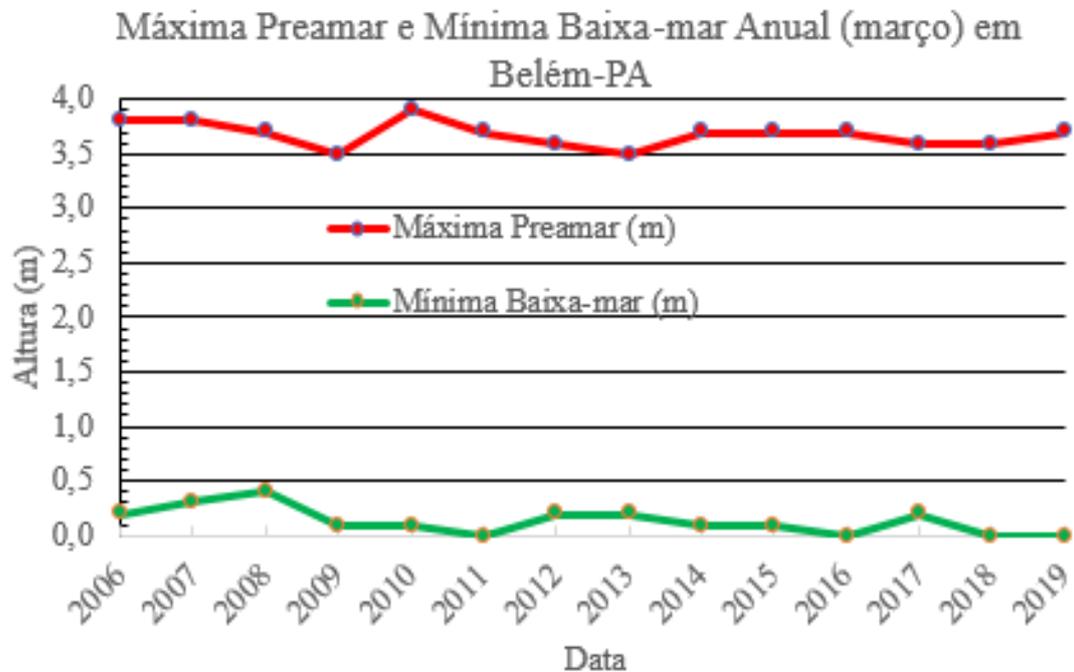


Figura 4 – Registro histórico das cotas de maré em Belém do Pará. Fonte: Elaborado pelos autores (2020) com base em CPTEC, 2019.

O mapa da Figura 5 apresenta a visão geral do município após a aplicação do MDE do satélite ALOS com o corte da cota máxima de maré de 3,9 metros. A ação possibilitou a visualização de áreas atingidas pelas enchentes. Essas áreas estão representadas pela mancha de cor vermelha. Grande parte da cidade é afetada quando o nível do rio atinge cota tão elevada, como registrado pelo CPTEC em 2010.

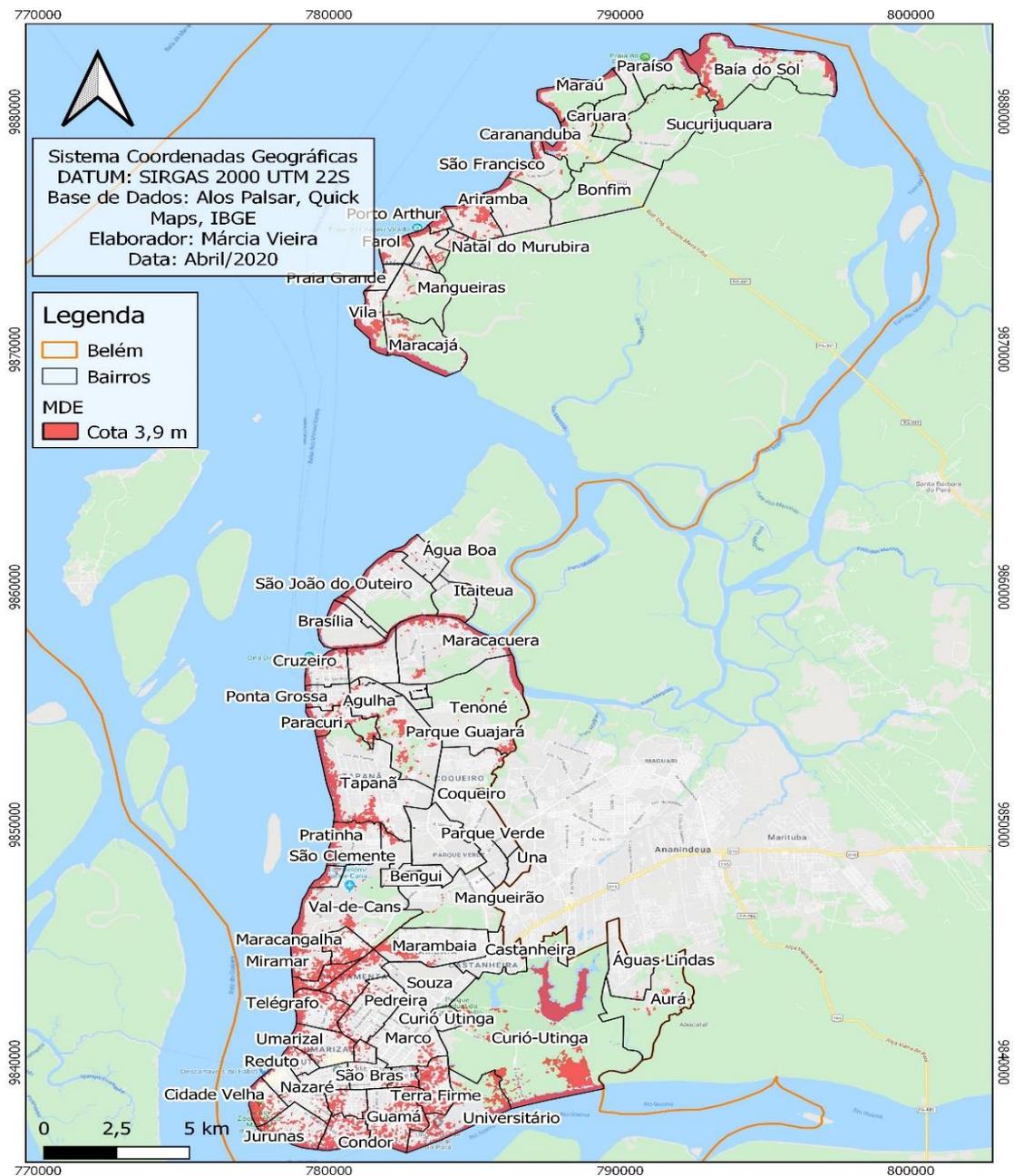


Figura 5 – Mapa de enchente em Belém com cota de maré de 3,9 m, visão geral do município. Fonte: Elaborado pelos autores (2020) com base cartográfica do IBGE (2019b) e da JAXA (2011).

A cidade de Belém possui grande ocupação populacional próxima aos cursos d’água e de acordo com Pinheiro et al. (2007) cerca de 38% da população ocupam áreas de baixadas. As áreas críticas de risco a inundações são justamente as partes mais baixas do município. A Figura 6 apresenta essas áreas mais afetadas na cidade.

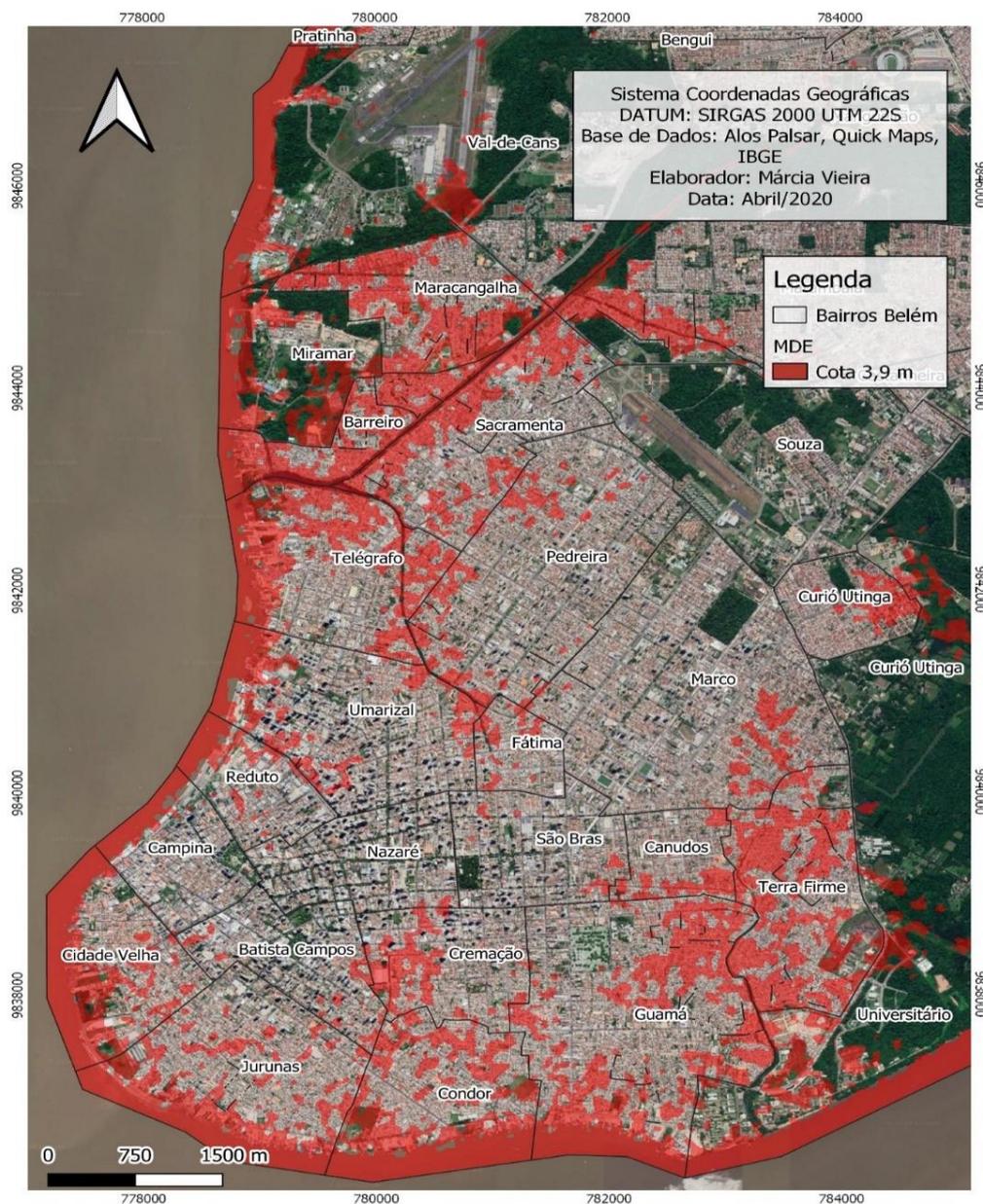


Figura 6 – Mapa de enchente em Belém com cota de maré de 3,9 m, áreas críticas. Fonte: Elaborado pelos autores (2020) com base cartográfica do IBGE (2019b) e da JAXA (2011).

As manchas de cor vermelha presentes no mapa da Figura 6 representam o alcance das águas quando o nível do rio atinge cota de 3,9 metros. Os espaços mais afetados são as áreas de baixadas, isso ocorre porque elas possuem cotas abaixo de 4 metros e/ou estão localizadas próximas aos canais que são cursos d'água que cortam a cidade.

De acordo com a Secretaria Municipal de Planejamento – SEGEP (2019), aproximadamente 40% da área continental do município de Belém está localizada em área de baixadas, que são áreas sujeitas a inundações periódicas. A Tabela 1 apresenta as bacias

hidrográficas da cidade e suas porcentagens de alagamento, a natureza desse evento não é especificada pela SEGEP, podendo ser tanto pela maré diária ou pela água da chuva.

Tabela 1 – Percentual de alagamento por bacia hidrográfica no município de Belém - 2019.

Bacias	Bairros	Área (km²)	Alagável (%)
Cajé	Pratinha, Tapanã, Parque Verde e São Clemente	5,82	9,62%
Mata fome	Tapanã e Bengui	6,3	98,40%
Val-de-cans	Pratinha, Bengui, Val-de-cans, Miramar, Parque Verde, São Clemente e Maracangalha	2,48	10,48%
Una	Umarizal, Nazaré, São Brás, Fátima, Marco, Pedreira, Telégrafo, Barreiro, Sacramento, Miramar, Maracangalha, Val-de-cans, Bengui, Parque verde, Cabanagem	36,64	19,02%
Reduto	Reduto, Umarizal, Nazaré e Batista Campos	2,74	57,34%
Tamandaré	Cidade Velha, Campina e Batista Campos	2,11	36,27%
Estrada Nova	Jurunas, Condor, Guamá, Cremação, Nazaré, Batista Campos e São Brás	9,64	62,55%
Tucunduba	Canudos, Terra Firme, Condor, Guamá, Cremação, Nazaré, Batista Campos e São Brás	10,55	54,50%
Murutucum	Universitário, Marco, Souza, Castanheira, Curió-Utinga e Guanabara	36,54	28,89%
Aurá	Aurá, Curió-Utinga e Águas Lindas	17,88	6,26%

Fonte: Elaborado pelos autores (2020) baseado em dados da SEGEP (2019).

A Tabela 1 exibe informações que coincidem com o mapa de áreas críticas presente na Figura 6, bairros como Terra Firme, Guamá, Jurunas, Batista Campos, Universitário, Condor, Cidade Velha, Canudos, Umarizal, Telegrafo, Reduto, Sacramento, Pedreira, Maracangalha estão entre as grandes porcentagens de alagamento e também estão significativamente sinalizados pela cor vermelha no mapa. O diferencial do estudo está justamente em conseguir localizar cartograficamente as inundações pelos bairros com o

auxílio de geotecnologias, como as imagens do satélite ALOS PALSAR, facilitando a visualização das áreas de risco.

É possível comprovar os resultados da metodologia apresentada observando o histórico de inundação da cidade em estudos como o de Braga, Barbosa e Almeida (2014) que analisam a problemática da Bacia da Estrada Nova apontando como uma área naturalmente inundável, assim como a pesquisa de Pegado et al. (2014, p. 73) que indicam os bairros Guamá, Terra Firme, Condor e Jurunas como os mais atingidos pela preamar.

As geotecnologias também são utilizadas por Sadeck, Souza e Silva (2012) para mapear zonas de risco à inundação em Belém, os autores apresentam 10 bairros com maior risco a inundações, são eles: Universitário, Jurunas, Telégrafo, Terra Firme, Miramar Cidade Velha, Barreiro, Condor, Sacramento e Maracangalha, todos com porcentagem de risco acima de 90%. Os bairros indicados por Sadeck, Souza e Silva (2012, p.10) também estão presentes no mapa de áreas críticas da Figura 6, possuindo compatibilidade com os resultados do presente estudo.

Portanto, o estudo possui resultados satisfatórios, o MDE do satélite ALOS PALSAR mostrou-se eficiente para mapeamento de inundações e uma ótima ferramenta para execução de ações preventivas e corretivas, além de possuir baixo custo por se tratar de uma medida não-estrutural. A resolução espacial de 12,5 metros das imagens do satélite é um fator importante quando tratamos de áreas urbanas, pois agrega mais precisão nos resultados.

Considerações finais

Os mapas gerados revelaram que as áreas mais suscetíveis a inundações são as áreas de baixadas que compõem parte significativa do município. Sabendo que Belém é uma cidade que historicamente sofre com inundações, era se de esperar que os mapas fossem indicar grande parte da cidade inundada com a ocorrência da maior cota de maré já registrada, equivalente a 3,9 m, os resultados obtidos foram compatíveis com outros estudos realizados na região.

O uso das imagens do satélite ALOS PALSAR mostrou-se eficiente e possibilitou o mapeamento de todo o território do município, constatando que as geotecnologias facilitam estudos em áreas urbanas. A utilização de *software* aberto e de materiais gratuitos, como o QGIS e o MDE do ALOS PALSAR, favorecem a aplicação da metodologia em outras cidades que sofrem com enchentes e inundações, visto que a

metodologia aplicada foi válida para o mapeamento de áreas de risco a inundações, podendo subsidiar ações de planejamento.

Para o aprimoramento da técnica e aumento da precisão dos resultados, recomenda-se a realização de estudos com adição de dados pluviométricos visando à soma com os dados de maré, tendo-se, assim, um mapeamento de inundação em conjunto com de alagamentos de forma ainda mais realista.

Referências bibliográficas

ABREU, G. S.; ANDRADE, C. S. P. Geotecnologias Aplicadas à Caracterização da Temperatura da Superfície na Cidade de Teresina (PI). *Acta Geográfica*, v. 13, n. 32, p. 28-47, 2019.

ARAÚJO, C. L. C.; PONTE, J. P. X.; LIMA, J. J. F.; RODRIGUES, R. M.; BRANDÃO, A. J. D. N. Ocupação e Consolidação das Baixadas em Belém-PA: periferia e Portal da Amazônia. 2012. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/9352880-Ocupacao-e-consolidacao-das-baixadas-em-belem-pa-periferia-e-portal-da-amazonia.html>>. Acesso em: 04 mai. 2020

BRAGA, R. C.; BARBOSA, A. L. C.; ALMEIDA, L. S. Urbanização e áreas de alagamentos em Belém: estudo da Bacia da Estrada Nova. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), Vitória-ES, 2014.

BRASIL. *Mapeamento de Risco em Encostas e Margens de Rios*. Brasília, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 2007, p.176.

CANHOLI, A. P.. O Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê. *Revista Água e Energia*, 1999. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/relatorios/revista/raee9904/drenagem.htm>> Acesso em: 15 mai. 2020.

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Tábuas de Maré, Porto de Belém/PA, 2010. Disponível em: < <http://ondas.cptec.inpe.br/> >. Acesso em: 15 set. 2019.

FRANCISCHETT, M. N.; BIZ, A. C. O Mapa Hipsométrico no Estudo dos Continentes. *Revista Signos Geográficos*, v. 2, p. 1-25, 2020.

HORA, S. B.; GOMES, R. L.. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 2, p. 57-75, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010, Área territorial brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2011

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 01 de julho de 2019a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal. Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Serviços para posicionamento geodésico: Modelo de Ondulação Geoidal MAPGEO2015, 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie.html>>. Acesso em: 08 set. 2019

JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency. ALOS PALSAR 26825_FBS_F7130_RT1, 2011. Acessado através do ASF – Alaska Satellite Facility. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

MANTOVANI, J. R.; BACANI, V. M. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. *Geosp – Espaço e Tempo* (Online), v. 22, n. 3, p. 687-706, dez. 2018. ISSN 2179-0892.

MARK, O.; WEESAKUL, S.; APIRUMANEKUL, C.; AROONNET, S. B.; DJORDJEVIC, S. Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, v. 299, n. 3-4, p. 284-299, 2004.

OLIVEIRA, R. C. A problemática das enchentes e o planejamento urbano. *Geografia*, p. 65-73, 1999.

PEGADO, R. S.; BLANCO, C. J. C.; ROHRIG, J.; CAROÇA, C.; COSTA, F. S. (2014). Risco de Cheia e Vulnerabilidade: Uma abordagem às Inundações Urbanas de Belém/Pará/Brasil. *Revista Territorium*, v. 21, p.71-76, 2014.

PINHEIRO, A.; LIMA, J. J. F.; SÁ, M. E. R.; PARACAMPO, M. V. A questão habitacional na Região Metropolitana de Belém. In: CARDOSO, A. L. *Habitação social nas metrópoles brasileiras: uma avaliação das políticas habitacionais em Belém, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo no final do século*, Porto Alegre, ANTAC, 2007. 5, p. 151-193.

PONTES, M. L. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JÚNIOR, J. A. S.; SADECK, C. C. A. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 49, p. 285-303, 2017.

QGIS. Version 3.4.7 QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<https://qgis.org/en/site/>> Acesso em: 30 ago. 2019

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16, p. 81-90, 2005.

SADECK, L. W. R.; SOUZA, A. A. A.; SILVA, L. C. T. Mapeamento das Zonas de Risco às Inundações no Município de Belém-PA. In: Anais do VI ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS. Belém-PA. 2012. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT11-642-1291-20120622190053.pdf>> Acesso em 01 jun. 2020.

SANTIS, D. G. D.; MENDONÇA, F. A. Impactos de inundações em áreas urbanas: o caso de Francisco Beltrão/PR. *RA'E GA-O espaço geográfico em análise*, v. 4, 2000.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. Estudo de caso: cidade de Belém. *Revista GeoAmazônia*, v. 1, n. 02, p. 33-55, 2014.

SEGEP- Secretaria Municipal de Planejamento. *Aspectos do Município de Belém*. Anuário Estático do Município de Belém. Prefeitura de Belém, 2019. Disponível em: <<http://anuario.belem.pa.gov.br/index.php/demografia-2/>> Acesso em: 01 jul. 2020.

SEMAS – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Base Hidrográfica Estadual 2019. Sistema Estadual de Informações Sobre Recursos Hídricos do Pará (SEIRH). Disponível em: <<http://monitoramento.semas.pa.gov.br/seirh/#/SecaoTematica/4>> Acesso em: 26 jun. 2020.

SOUZA, S. O; OLIVEIRA, R. C. Uso de imagens ALOS/PALSAR para mapeamento da declividade do litoral norte paulista. In: Anais do XII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. União Geológica Brasileira, Crato-CE, 2018. Disponível em: <<https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-542-546.html>> Acesso em: 29 jun. 2020.

TUCCI, C. E. M. *Gestão da drenagem urbana*. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Ed. dos Autores. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

USGS - United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). S02W049.SRTMGL1, 2015. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 25 de jun. 2020.

VINAGRE, M. V. A.; LIMA A. C. M.; LIMA JÚNIOR, D. L. Estudo do comportamento hidráulico da Bacia do Paracuri em Belém (PA) utilizando o programa Storm Water Management Model. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 361-368, 2015.