Revista Brasileira de Geografia Física

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

Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA

Fernanda da Silva de Andrade Moreira¹, Gustavo Francesco de Moraes Dias², Maria Isabel Vitorino³, Jéssica Cristina Conte da Silva⁴

¹ Doutoranda em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, CEP 66075110 - Belém PA, (91) 98103-9868, fsamoreira@hotmail.com (autor correspondente). ² Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Pará, Rodovia PA 275, s/n Bairro - União, Parauapebas - PA, 68515-000. (91) 98262-2543, gustavo_dias01@hotmail.com. ³ Dra. em Meteorologia, Professora Associada I, Departamento de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, (91) 98214-5137, vitorino@ufpa.br. ⁴ Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, CEP 66075110 - Belém PA, (91) 98015-9495, jessicacris07@hotmail.com.

Artigo recebido em 02/08/2019 e aceito em 24/12/2019

RESUMO

Belém apresenta aspectos geomorfológicos e climáticos que convergem para uma situação constante de risco ambiental. As áreas de várzea, o elevado índice pluviométrico e as modificações decorrentes da urbanização favorecem a ocorrência de alagamentos principalmente durante a estação mais chuvosa. O presente estudo buscou entender como precipitação e a topografia colocam a população em situação de vulnerabilidade para inundações. Para tal utilizou-se a estimativa de precipitação com base na técnica do CMORPH, as cotas altimétricas foram geradas a partir de imagens do LANDSAT 8, os dados de vento obtidos pelo OpenGRADS e a mancha de inundação obtida a partir das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações da CPRM. Identificou-se que no período mais chuvoso a porção continental apresenta os maiores picos de precipitação, acima de 300 mm. Entretanto, no trimestre SON, tanto na porção insular quanto na porção continental, a precipitação ficou em torno de 03 mm. O levantamento topográfico revelou que a maior parte da porção continental apresenta terrenos com cotas abaixo de 06 m em relação ao nível do rio. Além disso, se notou que a mancha de inundação da CPRM converge com o MDE, cotas abaixo de 50 m colocando a população da cidade em situação de vulnerabilidade. A omissão do Poder Público sobre esses fatores no planejamento urbano se traduz em uma vulnerabilidade socioambiental acentuada.

Palavras-chave: vulnerabilidade, variáveis climáticas, áreas urbanas.

Effects of precipitation and topography under the risk of floods in the city of Belém-PA

ABSTRACT

Belém have geomorphological and climatic aspects that converge to a constant situation of environmental risk. The floodplain areas, high rainfall index and the modifications resulting from urbanization favor the occurrence of floods mainly during the rainy season. The present study sought to understand how precipitation and topography make the population vulnerable to flooding. For that, the precipitation estimation was used based on the CMORPH technique. The relief was extracted from the Digital Elevation Model and the wind data were obtained by OpenGRADS. The flood spot was generated by the CPRM. It was identified that in the rainy season the continental portion presents the highest peaks of precipitation, above 300 mm. However, in the SON quarter, in the insular portion as in the continental portion, the precipitation was around 03 mm. The topographic survey revealed that most of the continental portion presents lands with heights below 06 m in relation to the level of the river. In addition, it was noted that the CPRM flood spot converges with the MDE. Therefore, the topography of the city places it in a situation of vulnerability. This omission in urban planning translates into a marked socio-environmental vulnerability.

Keywords: vulnerability, climate variables, urban areas.

Introdução

Segundo Alves (2010), o clima urbano abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. As áreas urbanizadas produzem efeitos na atmosfera da camada intra-urbana de uma região devido às diversas formas de uso e ocupação do solo e estrutura urbana (Cunha, et al., 2017; Rocha et al., 2011). Entretanto, existe uma série de fatores que atuam e caracterizam o clima de uma dada região.

“O clima de uma região é determinado por fatores, denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera (CGA), a topografia local, a natureza da cobertura vegetal, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas se a região for costeira. A CGA, que é uma consequência da distribuição latitudinal da energia solar e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos, impõe as características gerais do clima regional” (Molion, p. 1, 1987).

Na Amazônia, os principais indutores do clima são a precipitação e a variação da atividade convectiva. De acordo com Marengo (2008a), o ciclo hidrológico da Amazônia contribui de forma global para emissão de vapor de água na atmosfera e consequentemente na formação das chuvas, as quais exercem uma influência sobre o clima que vai além da interação entre a umidade atmosférica, precipitação e escoamento superficial.

Assim, vários estudos (Ferreira et al., 2015; Reboita et al., 2010; Barbosa et al., 2015) apontam que a Amazônia exibe alta variabilidade espacial e temporal, com duas estações bem definidas: mais chuvosa e menos chuvosa. De Souza e outros (p. 298, 2016) apontam que “os trimestres de junho, julho e agosto (JJA) e setembro, outubro e novembro (SON) compreendem os períodos sazonais com regime climático mais seco (ou menos chuvoso) sobre a maior parte da Amazônia. Por outro lado, os trimestres de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) e março, abril e maio (MAM) caracterizam o regime climático mais úmido e chuvoso sobre a Amazônia”.

Essa alta variabilidade pluviométrica espacial é devido à manifestação conjunta ou não de diversos sistemas meteorológicos de escala local, meso, sinótica e grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e os ventos alísios do Hemisfério Sul (Molion, 1987), linhas de instabilidade (Cohen et al., 1995), Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) (Sodré et al., 2015), Zona de

Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ciclo El Niño / Oscilação do Sul (ENOS) no Oceano Pacífico (Ferreira et al., 2015).

A cidade de Belém situa-se na Amazônia, portanto, além da atuação de todos esses sistemas, deve-se destacar a importância das circulações locais de brisa fluvial. Germano e outros (2017) observaram na cidade a presença dessas circulações no quadrante NE/N, com tempo de ocorrência de 1200 a 0000 UTC. Essa circulação foi regularmente observada ao longo do ano. O ciclo diurno das chuvas é altamente influenciado pelas circulações da brisa, tendo seu máximo pronunciado quando ocorrem essas circulações.

Além desses sistemas de circulação geral da atmosfera, cabe destacar o papel dos moduladores climáticos, como o El Niño-Oscilação do Sul (ENOS), que “é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, que ocorre no Oceano Pacífico tropical, e é considerado como a principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do Globo” (Berlato et al., p. 424, 2005). O ENOS possui duas fases: positiva (*El Niño*), que nos Trópicos ocasiona uma redução na precipitação e a negativa (*La Niña*), que provoca um aumento na precipitação.

Segundo Marengo (p. 30, 2007) “*El Niño* e *La Niña* caracterizam-se pelo aquecimento/esfriamento das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical Central e do Leste. O gradiente de pressão entre o Pacífico Central e do Oeste (chamado de “Oscilação Sul”) experimenta variações associadas ao aquecimento ou esfriamento do Pacífico Equatorial”.

O ENOS altera as condições climáticas em diversas partes do mundo, com duração de 12 a 18 meses em média em intervalos de 2 a 7 anos com diferentes intensidades. Onde o *El Niño* inibe a formação de nuvens convectivas, diminuindo a precipitação sobre a região norte, podendo causar anomalias negativas de precipitação, estando associados com a estação menos chuvosa na Amazônia. E *La Niña* provoca a formação de nuvens convectivas, podendo aumentar os totais pluviométricos, e anomalias positivas, atuando desta forma sobre a região norte do Brasil. Resultados de Ferreira e outros (2015) mostraram que o fenômeno El Niño afeta a estação chuvosa do ano posterior ao seu início, nas localidades do estado do Pará e adjacências.

Conjuntamente a essa caracterização climática, é importante destacar a topografia da cidade. “Na cidade de Belém, na margem leste da baía de Guajará, a rede de drenagem é do tipo dendrítica, sendo o território do município densamente entrecortado por mais de trinta cursos

d'águas que deságuam, a norte, nas baías do Marajó e do Sol, a oeste na baía do Guajará e, a sul, no rio Guamá” (Gregório; Mendes, p. 60, 2009).

Belém apresentam aspectos topográficos e climáticos que a colocam em uma situação constante de risco ambiental, pois as suas áreas de várzea associadas a um índice pluviométrico em torno de 3000 mm/ano e as intensas modificações decorrentes da urbanização (impermeabilização, alteração topográfica, problemas de saneamento básico) tornam inevitável a ocorrência de alagamentos e inundações, principalmente, durante a estação mais chuvosa (Pontes et al., 2017).

Esses fatores colocam a cidade de Belém em condição de vulnerabilidade. Na linguagem corrente, vulnerabilidade é “qualidade de vulnerável”, ou seja, o lado fraco de um assunto ou questão, ou o ponto por onde alguém pode ser atacado, ferido ou lesionado, física ou moralmente, por isso mesmo vulnerabilidade implica risco, fragilidade ou dano. Para que se produza um dano, devem ocorrer três situações: um evento potencialmente adverso, ou seja, um risco, que pode ser exógeno ou endógeno; uma incapacidade de responder positivamente diante de tal contingência; e uma inabilidade para adaptar-se ao novo cenário gerado pela materialização do risco (Marandola; Hogan, 2006).

O conceito de vulnerabilidade é bem amplo, no entanto, no escopo deste trabalho será o de vulnerabilidade socioambiental urbana, a qual segundo Mendonça (p. 156, 2010) “evidencia a heterogeneidade dos impactos advindos dos riscos que se abatem sobre uma dada população, constituindo ambos – risco e vulnerabilidade socioambiental urbana – uma seara de alta complexidade para a compreensão e gestão urbana”.

Nas cidades brasileiras, amazônicas e, em uma escala menor, em Belém, o que se percebe é uma produção de riscos, como os ligados ao desconforto térmico e à formação de ilhas de calor, decorrentes de condições naturais das cidades brasileiras. Ao se observar as precárias condições as quais as populações são submetidas como, processo de ocupação urbana, aliado a falta de planejamento de urbanização das cidades, é possível notar alterações no balanço de energia e alteração dos níveis de conforto urbano (elevação da temperatura e redução da umidade relativa). Dessa forma, vive-se um círculo vicioso com degradação ambiental e social gerando riscos e submetendo a população a situações de vulnerabilidades.

Como agravantes a essas péssimas condições têm-se as mudanças climáticas vividas atualmente. Como, o acúmulo de poluentes na atmosfera provoca mudanças no clima em nível global, com efeitos diretos na elevação da temperatura, troca no regime de chuvas e elevação do nível do mar. É nesse ambiente que as cidades e os centros urbanos aparecem como espaços fundamentais para a compreensão do problema (Meehl et al., 2007).

Com essa urbanização tardia e desordenada, as populações amazônicas são vulneráveis social e ambientalmente, seja pelas condições precárias que as colocam em risco, seja por fatores externos, como as mudanças nas variáveis climáticas. Assim, o presente estudo busca entender como as variáveis climáticas são alteradas pela configuração espacial da cidade, e mostrar que estas atreladas a morfologia do território, colocam a população em situação de vulnerabilidade

Material e métodos

A área de estudo é a cidade de Belém, capital do estado do Pará, localizada sob as coordenadas geográficas 01°27' S e 48°28' W, e segundo dados do IBGE, a população estimada para o município em 2016 é de 1.446.042 habitantes (PNAD), distribuídos num território de 1.065km² (Figura 1).

Segundo dados da CODEM (Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém - 2005), Belém, considerando a porção insular e continental, está dividida em oito Distritos Administrativos, englobando 39 ilhas e 71 bairros. Para este trabalho, o distrito de Mosqueiro, localizado na porção norte, e o distrito de Outeiro, porção média, foram englobados na porção insular.

Os dados de vento foram retirados do conjunto de dados de reanálises do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do NCEP com resolução espacial e temporal de 0,5° x 0,5° e de 6 horas, respectivamente (Vargas Júnior, 2015). Segundo Quadro e outros (2012) esses dados foram desenvolvidos para simular a condição do domínio acoplado do sistema oceano-atmosfera-terra e gelo da superfície do mar, com alta resolução. Para o estudo em questão os dados utilizados foram do ano de 2015 em uma distância de 1000 hPa da superfície.

Figura 1. Divisão da Área de Estudo.

Os dados foram baixados em formato binário e processados com o suporte do software OpenGRADS (Doty, 1992).

A análise da precipitação foi feita com base na técnica do CMORPH (Center Morphing Technique) e utiliza as imagens dos satélites meteorológicos Meteosat e GOES no canal do infravermelho e possui uma resolução espacial de 8 km e temporal de 30 minutos (Joyce et al., 2004). Os dados de chuva estimados por satélite são disponibilizados operacionalmente pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Araújo; Guetter, 2007). Esses dados foram baixados em formato binário e processados com o suporte do software OpenGRADS (Doty, 1992). Os dados utilizados foram do ano de 2015, ressalte-se, por relevante, que os mapas sazonais apresentam escalas de cores diferentes para um

mesmo valor, isso decorre dos diferentes quantitativos observados nesse período.

Para a classificação do NDVI foi usada a imagem de satélite do LANDSAT 8 com resolução espacial de 30 metros, disponível no site do Serviço e Levantamento Geológico dos Estados Unidos USGS no formato geotiff nas bandas azul (blue), vermelho (red), verde (green), infravermelho próximo (NIR) e na composição vermelho-verde-azul (RGB). No tratamento da imagem foram utilizadas as bandas 4 e 5 para gerar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que segundo Velasco e outros (2007) consiste em uma equação que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo. A correção de ajustes de imagens foi feita por meio do software Quantum Gis (QGIS), que permitiu visualizar e classificar os elementos urbanos. Desse ajuste foi então gerado o NDVI, que é um índice muito utilizado, pois, reduz o efeito topográfico e

apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1. O relevo foi extraído do Modelo Digital de Elevação (MDE), com base na imagem do LANDSAT 8 disponível no USGS a partir de uma cena SRTM 1 Arc-Second Global. A área de estudo foi recortada com suporte do software Quantum Gis (QGIS). Os arquivos MDE gerados a partir de radar tem resolução 30x30 metros (Ferreira et al., 2015).

A mancha de inundação foi gerada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2017) e está disponível no seu site através das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. O dado foi tratado com suporte do software Quantum Gis (QGIS).

Resultados e discussão

Aspectos Climáticos

A partir do levantamento dos dados do CFSR/NCEP, notou-se a direção e a velocidade do vento sobre o município de Belém, o qual sofre influência da brisa fluvial, conforme estudo de Germano e outros (2017). Apesar da escala espacial ser de 50 km, percebe-se que os ventos no trimestre de DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), período mais chuvoso, estão mais de nordeste (Figura 2). Estes ventos locais estão associados ao

fluxo médio dos ventos comerciais que, através do deslocamento dos sulcos subtropicais, podem alterar a intensidade da circulação local (Germano et al., 2017).

Quanto à velocidade, esta varia de 1,0 a 1,4 m/s e o trabalho realizado na área de estudo por Silva Júnior e outros (2013), bem como, a configuração espacial da cidade (Figura 6) apontam que na zona Central da cidade existe um número maior de edifício altos, que dificultam a circulação do vento, e reduzem sua velocidade, o que implica na redução da troca das massas de ar daquela região, e teoricamente propiciaria a formação de microclimas mais desconfortáveis.

Paralelo na área menos urbanizada, onde há menos edificações, o vento flui com mais facilidade, existem mais áreas com vegetação e menos impermeabilização do solo, o que facilita a evapotranspiração. Oke (1987) afirma que à medida que o vento se desloca para a área central das cidades suas características vão se invertendo, onde existem mais edificações, menos quantidade de vegetação, maior impermeabilização do solo e obstáculos para reduzir a circulação dos ventos.

Esse comportamento do vento tem reflexo direto na precipitação, pois favorece a circulação da brisa fluvial intensificando o transporte de umidade, contribuindo para a formação das chuvas.

Área de Belém.

Figura 2. Escoamento do Vento no Trimestre DJF (2015).

Com o levantamento dos dados a partir do CMORPH, nota-se que a precipitação, no período mais chuvoso, o trimestre DJF (Figura 3a) apresentou os seguintes resultados: na porção continental, onde se localiza a mancha urbana de Belém notam-se os maiores picos, com a precipitação acima de 300 mm, favorecida pelas ilhas de calor urbano, as quais ocasionam um aumento na precipitação, através do aumento das correntes convectivas sobre o centro urbano (Fernández et al., 2015; Freitas et al., 2005; Oke; Maxwell, 1975).

Ressalte-se que uma ilha de calor urbana “se desenvolve com maior intensidade em locais com grande rugosidade (topografia artificial dos prédios), capaz de proporcionar uma aerodinâmica particular. A velocidade do vento se reduz, mas ocorre um aumento da turbulência e no arrasto produzido pela fricção do ar. É uma camada limite interna de escala mesoclimática, cujas características são determinadas presença da malha urbana” (Fialho, p. 68, 2012).

Nesse mesmo trimestre, com altos índices encontra-se também a parte sul do distrito de Mosqueiro, com precipitação em torno de 320 mm. As outras áreas da porção insular apresentaram i precipitação acima dos 240 mm. Essa intensa precipitação é justificada por efeito oposto, a

grande extensão de vegetação torna essas áreas verdadeiros sumidouros, com índice alto de evapotranspiração (Higuchi et al., 2011). No trimestre MAM (Março, Abril e Maio), a precipitação é elevada na porção continental, acima dos 680 mm (Figura 3b), entretanto a maior ocorrência é no distrito de Mosqueiro. Na porção continental, a precipitação variou de 640 a 660 mm.

No trimestre de JJA (Figura 4**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), período menos chuvoso, os ventos são de este e com a velocidade variando de 1,0 a 1,4 m/s. À medida que os ventos entram no continente, os mesmos perdem velocidade e magnitude. Segundo Germano e outros (2017), em Belém, percebe-se a ocorrência da brisa fluvial durante todos os meses do ano, no entanto, ela é mais intensa durante JJA.

A análise do vento horizontal corrobora com a precipitação, pois a direção de este é oposta à circulação da brisa, dificultando o transporte de umidade e a formação das chuvas. No período menos chuvoso o trimestre JJA (Figura 5a) apresentou os seguintes resultados: a porção continental apresentou os maiores picos, com a precipitação em torno de 170 mm. Com altos índices encontra-se também a parte norte do distrito de Mosqueiro e a porção insular com precipitação em torno de 160 mm.

Figura 3 - Precipitação no Período Mais Chuvoso no Município de Belém em 2015, a) trimestre DJF e b) trimestre MAM.

No trimestre SON (Figura 5b), a precipitação é baixa. Tanto na porção insular quanto na porção continental, a precipitação ficou

em torno de 03 mm. O distrito de Mosqueiro na porção insular teve uma precipitação bem heterogênea, atingindo o maior pico com 11 mm.

Figura 4. Escoamento do Vento no Trimestre JJA (2015).

De Souza e outros (p. 299, 2016) “evidenciaram na região a redução na precipitação durante o inverno (JJA), associado ao deslocamento aparente do sol para o Hemisfério Norte, quando passa a predominar o ramo

descendente da circulação de Hadley sobre os trópicos do Brasil, inibindo assim a formação de nebulosidade convectiva e privando a Amazônia da ocorrência de chuva devido a sistemas de grande escala”.

Figura 5 - Precipitação no Período Mais Chuvoso no Município de Belém em 2015, a) trimestre JJA e b) trimestre SON.

Aspectos do Uso do Solo e Condições Naturais

O NDVI (Figura 6) para o município de Belém revelou altos índices de urbanização na porção continental da cidade. Ressalte-se que nessa

área localiza-se a chamada primeira légua patrimonial, área de surgimento da cidade, e zona de expansão da cidade, localizada no entorno da Rodovia Augusto Montenegro.

Figura 6. Classificação do NDVI

Essa urbanização intensa ocasiona alterações no meio físico e consequentemente na sustentabilidade da cidade e na qualidade de vida da população, pois facilita maior incidência de radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, aumento da emissão de radiação de onda longa, alteração dos ciclos de precipitação como apontam alguns estudos (Moreira e Vitorino, 2017; Martelli e Santos Júnior, 2015). A situação nessa porção é atenuada pela presença de Unidades de Conservação, como o Parque Estadual do Utinga, localizado na parte sudeste.

A porção insular apresenta 13,75% de solo exposto com poucas áreas urbanizadas e uma predominância de áreas verdes, que ocupam mais de 80% do seu território. A presença de vegetação

confere a esta um melhor conforto ambiental em relação àquela (Moreira e Vitorino, 2017; Tejas et al., 2019).

A supressão de áreas verdes aliada a configuração geomorfológica da cidade revelam riscos ambientais. Segundo Gregório e Mendes (p. 60, 2009), “o crescimento desordenado levou 35% da população da capital paraense a morar em condições inadequadas. Muitas pessoas habitam os setores topograficamente mais baixos, nas áreas marginais inundáveis, estando submetidas a alagamentos regulares. As altas taxas de precipitação, aliadas ao regime de meso-marés semidiurnas, regem esses alagamentos, potencializados nas marés equinociais”.

A topografia da cidade pode ser dividida em regiões de “terras secas” e “terras inundadas”

(Martins, 2015; Araújo Júnior, 2013). Pimentel e outros (2012) afirmam que os processos geológicos ocorrentes na Amazônia acabaram gerando um modelado em Belém, este por sua vez se subdivide em duas unidades morfológicas que são: terraços de idade pleistocênica - Terra-firme que não sofrem inundações periódicas, com topografia que varia de 4 a 20 metros de altitude, coberto por laterita. A segunda unidade são as planícies holocênicas denominadas de várzeas ou baixadas, com níveis topográficos baixos que vão de 0 a 4

metros de altitude. São áreas que sofrem inundações diárias, que se dão pela influência das marés ou de índices pluviométricos intensos.

O Modelo de Digital de elevação (Figura 6) mostrou que a maior parte da porção continental apresenta terrenos com cotas abaixo de 06 m em relação ao nível do rio. A porção insular representa a parte com as áreas mais altas da cidade, entretanto essa elevação não ultrapassa os 22 m, exceto na região central do distrito de Mosqueiro com níveis variando de 33 a 60 m.

Figura 7. Modelo Digital de Elevação do Município de Belém

Além dessas áreas se situarem nas cotas mais baixas, as mesmas são as mais urbanizadas do município e com menor índice de cobertura vegetal (Figura 6). De acordo com Tucci (2009) a impermeabilização é uma das principais causas das inundações e deslizamentos em áreas urbanas, porque as áreas verdes são diminuídas gradualmente reduzindo a propensão de infiltração de água na terra, aumentando consideravelmente a

quantidade e a velocidades de água que percola pela superfície do solo.

Os terrenos de planície, como os de Belém, são suscetíveis aos efeitos das enchentes e inundações, estas áreas não deveriam ser ocupadas, caso contrário, vários impactos socioambientais podem ocorrer. Esses fenômenos surgem com periodicidade nos cursos d'água, devido as frequentes chuvas fortes e rápidas ou chuvas de

longa duração (Pontes et al., 2017; Araújo Júnior, 2013; Amaral e Ribeiro, 2012).

Belém situa-se em um ambiente em que os aspectos geomorfológicos e climáticos convergem para uma situação constante de risco ambiental a ocorrência de inundações. As áreas de várzea associadas a um índice pluviométrico em torno de 3000 mm/ano e as modificações decorrentes da urbanização (impermeabilização, alteração topográfica, problemas de saneamento básico) favorecem a ocorrência de alagamentos principalmente durante a estação mais chuvosa (Pontes et al., 2017; Araújo Júnior, 2013; Pimentel et al., 2012). A análise dos dados do CMORPH e do NDVI converge com as áreas de inundação propostas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2017). A porção continental apresenta em grande parte da sua área risco alto e médio para inundação (Figura 8). A porção insular também

apresenta risco alto, no entanto pela própria dinâmica de várzea (Moura et al., 2013; Pimentel et al., 2012) Essas áreas são naturalmente suscetíveis à inundação e tem como agravante a intensa precipitação na cidade e grande área de solo impermeabilizado, decorrente da urbanização. Segundo Silva Junior e outros (2011), basta um evento de chuvas superiores a 10 mm, coincidindo com a maré alta ou de chuvas de 35 mm se a maré estiver na baixa-mar, para que a cidade inunde. As cotas baixas revelam graves problemas. A baixa declividade da rede hídrica é agravada pela influência do regime de marés do rio Guamá e da baía do Guajará sobre a rede de drenagem, ocasionando um mau funcionamento do sistema de escoamento da cidade, em que a consequência mais crítica ocorre quando se dá a coincidência com o período de chuvas intensas (Pontes et al., 2017; Martins, 2015; Araújo Júnior, 2013).

Figura 8. Mancha de Inundação do Município de Belém.

Conclusões

A partir do estudo buscou-se entender como a precipitação e topografia colocam a população em situação de vulnerabilidade em relação às manchas de inundação na cidade de Belém.

Na porção continental, onde se localiza a área mais urbanizada da cidade, notou-se os maiores picos de precipitação. Ainda que haja uma redução na precipitação, a topografia da cidade coloca-a em situação de vulnerabilidade. Com esses resultados foi possível perceber que essa região apresenta um alto grau de suscetibilidade às inundações. Esta área não deveria ser ocupada, pois vários impactos socioambientais podem ocorrer.

As inundações ocorrem com grande periodicidade nos cursos d'água, devido as frequentes chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração muito comuns no município. Além disso, as áreas de várzea associadas a um índice pluviométrico em torno de 3000 mm/ano favorecem a ocorrência de alagamentos, principalmente, durante a estação mais chuvosa.

É possível que esse levantamento demonstre que a cidade de Belém seguiu padrões de urbanização que desconsideraram os elementos naturais no planejamento urbano, ocasionando diversos problemas ambientais.

A compreensão da relação entre precipitação e topografia e as suas consequências sob as inundações é fundamental para discussão acerca de um projeto de planejamento urbano adequado as peculiaridades das cidades, de modo a melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ, à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas, FAPESPA, e a Universidade Federal do Pará, UFPA.

Referências

Amaral, R. do; Ribeiro, R. R., 2009. Inundações e Enchentes. In: Tominaga, L. K.; Santoro, J.; Amaral, R. (Org.). Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 196 p.

Andrade, I. R. A., 2008. O Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Identificação de Formas na Região de Porto Rico, Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, MS/PR. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Maringá. doi: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12124>

Antônio C. R. A. J., 2013. Fatores de Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica da Estrada Nova Belém – PA. Geografia (Londrina), v.22, n.2. p. 57-78, maio/ago. doi: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2013v22n2p57>

Araújo, A. N.; Guetter, A. K., 2006. Validação da Chuva Estimada por Satélite "CMORPH" na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 12, p. 189-198. doi: 10.21168/rbrh.v12n3.p189-198

Berlato, M. A.; Farenzena, H.; Fontana, D. C., 2005. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 40, n.5, p. 423-432. doi: dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500001

Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A.; Nobre, C. A., 1995. Environmental Conditions Associated with Amazonian squall lines: a case study. Monthly Weather Review. doi: [doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<3163:ECAWAS>2.0.CO;2)

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2017. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações. Documento Cartográfico. Brasil.

De Souza, E. B.; Carmo, A. M. C.; Moraes, B. C. Nacif, A. Ferreira, D. B. S. Rocha, E. J. P. Souza, P. J. O. P., 2016. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4. Revista Brasileira de Climatologia, v. 18. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43711>.

Doty, B. E., 1992. Using the grid analysis and display System. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA). Maryland: University of Maryland.

Fernández, F. J.; Alvarez-Vázquez, L. J.; García-Chan, N.; Martínez, A. Vázquez-Méndez, M. E., 2015. Optimal location of green zones in metropolitan areas to control the urban heat island. Journal of Computational and Applied Mathematics. 289, pg. 412–425. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2014.10.023>

Ferreira, D. B. S.; De Souza, E. B.; Moraes, B. C.; Meira Filho, L. G., 2015. Spatial and Temporal Variability of Rainfall in Eastern Amazon during the Rainy Season. The Scientific World Journal, v. 2015, p. 1-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/209783>.

Fialho, E. S., 2012. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. ACTA Geográfica, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 61-76. doi: 10.5654/actageo2012.0002.0004

- Freitas, E. D., 2003. Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado.
- Freitas, E. D.; Dias, P. L. S., 2000. O efeito da ilha de calor urbana sobre os fluxos de calor através da utilização do modelo RAMS. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro - RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Freitas, E. D.; Martins, L. D.; Dias, P. L. S.; Andrade, M. F. A., 2005. Simple photochemical module implemented in RAMS for tropospheric ozone concentration forecast in the metropolitan area of São Paulo, Brazil: Coupling and validation. *Atmospheric Environment*, vol. 39 (34), pg. 6352-6361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.07.017>
- Germano, M. F.; Vitorino, M. I.; Cohen, J. C. P.; Costa, G. B.; Souto, J. I. O.; Rebelo, M. T. C.; DE Sousa, A. M. L., 2017. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. *Atmospheric Science Letters*, v. 18. doi: 10.1002/asl.726
- Gregório, A. M. S.; Mendes, A. C., 2009. Batimetria e sedimentologia da baía de Guajará, Belém, estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, v. 5, n. 9, jul./dez.
- Higuchi, N.; Santos, J. L., A. J. N. Higuchi, F. G. Chambers, J. Q. A Floresta Amazônica e a água da chuva. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 427-434, jul./set. 2011.
- Joyce, R., J.; Janowiak, J. E.; Arkin, P. A.; Xie, P., 2004. A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, v. 5, p. 487-503. doi: [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2)
- Kousky, V. E., 1980. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. *Monthly Weather Review*.
- Marandola Júnior., E.; Hogan, D. J., 2006. As dimensões da vulnerabilidade. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 1, p. 33-43.
- Marengo, J. A., 2007. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI 2ª. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1. 214p.
- Marengo, J. A., 2008a. Water and Climate Change. *Estudos Avançados (USP.Impresso)*, v. 22, p. 83-96.
- Marengo J. A.; Nobre. C.; Tomasella, J.; Oyama, M.; Oliveira, G. S.; Oliveira, R.; Camargo, H.; Alves, L. M.; Brown, I. F., 2008b. The drought of Amazônia in 2005. *Journal of Climate*, n. 21, p. 495-516. doi: <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- Martelli, A.; Júnior Santos, A. R., 2015. Arborização Urbana do município de Itapira – SP: perspectivas para educação ambiental e sua influência no conforto térmico. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*. V. 19, n. 2, mai-ago, p. 1018-1031. doi: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117015968>
- Martins, V. C. D., 2015. Avaliação de sistemas de prevenção e contenção de inundações em Bacia de drenagem urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Dissertação de Mestrado.
- Meehl, G. A.; Covey, C.; Taylor, K. E.; Delworth, T.; Stouffer, R. J.; Latif, M.; Mcavane, B.; Mitchell, J. F. B., 2007. The WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.88, p.1383-1394. doi: 10.1175/BAMS-88-9-1383
- Mendonça, F., 2010. Riscos e vulnerabilidades socioambientais urbanos a contingência climática. *Mercator*, v. 9, n. 1. doi: 10.4215/RM2010.0901.0010.
- Molion, L. C. B., 1987. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p.107-117.
- OKE, T. R., 1987. Boundary layer climates. Second Edition. London & New York: Routledge, 435 p.
- Oke, T. R.; Maxwell, G. B., 1975. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment*, Oxford, v.9, p.191-200
- Pimentel, M. A. S.; Santos, V. C.; Silva, F. A. O.; Gonçalves, A. C. A., 2012. Ocupação das várzeas na cidade de Belém: causas e consequências socioambientais. *Revista GeoNorte*, edição especial, V.2, N.4, p.34 - 45.
- Pontes, M. L. C.; Lima, A. M. M.; Silva, J. A.; Sadeck, C. C. A., 2017. 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. doi: 10.5752/p.2318-2962.2017v27n49p28.
- Quadro, M. F. L.; Silva Dias, M. A. F.; Herdies, D. L.; Goncalves, L. G. G., 2012. Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. *Revista Brasileira*

- de Meteorologia, v. 27. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000200004>.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Da Rocha, R. P.; Ambrizzi, T., 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v. 25, p. 185-204. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>.
- Rocha, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V., 2011. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. *Ambiente Construído (Online)*, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-175. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212011000300012>.
- Silva Júnior, J. A.; Costa, A. C. L.; Pezzuti, J. C. B.; Costa, R. F.; Carvalho, S. P., 2011. Eventos de Precipitação e Alagamentos na Cidade De Belém-Pa. In: *Simpósio Internacional de Climatologia*, 2011, João Pessoa. Anais - IV SIC.
- Sodré, G. R. C.; Vitorino, M. I.; Cohen, J. C. P.; Moraes, B. C., 2015. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 45-55. doi: [10.26848/rbgf.v8.5.p1281-1293](https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.5.p1281-1293)
- Tejas, G. T.; Azevedo, M. G. F.; Locattelli, M. A., 2019. Influência de Áreas Verdes no Comportamento Higrotérmico e na Percepção Ambiental do cidadão em duas Unidades Amostrais no município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. *REVSBAU*, Piracicaba – SP, v.6, n.4, p. 15-34. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v6i4.66484>
- Vargas Júnior, V. R., 2015. Assimilação de dados de superfície no modelo WRF para o estudo de atividade elétrica na região sudeste do Brasil: Estudo de casos. Mestrado em Geofísica Espacial/Ciências Atmosféricas) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Dissertação de Mestrado.