

Dinâmica do hidroterritório da Região Metropolitana de Belém (PA)

Hydro-territories dynamics of the Metropolitan Region of Belém (PA)

Hidro-territorio dinámica de la Región Metropolitana de Belém (PA)

Recebido: 06/04/2021 | Revisado: 15/04/2021 | Aceito: 20/04/2021 | Publicado: 06/05/2021

Aline Maria Meiguins de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0594-0187>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: ameiguins@ufpa.br

Nedilson Sanches Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-9274>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: nedilsonlive@gmail.com

Marcus Vinicius Silva da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7959-3798>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: marcussilva_16@hotmail.com

Adênio Miguel Silva da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1966-8559>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: adenio.miguel@yahoo.com.br

Resumo

Este trabalho objetivou elaborar o zoneamento do hidroterritório da Região Metropolitana de Belém, identificando as áreas de maior ameaça a sustentabilidade hídrica nas bacias hidrográficas formadoras. A metodologia empregou a associação entre distribuição espacial da rede de drenagem, do modelo digital de elevação, da precipitação pluviométrica e das cartas de expansão de infra-estrutura urbana e viária, para geração de um zoneamento integrado. Os resultados indicaram que as áreas de maior tendência de expansão na RMB encontram-se localizadas em divisores topográficos. A maior parte da região (64,70%) encontra-se em áreas de maior pluviosidade e escoamento superficial, com densidade de ocupação variável, com predomínio de zonas de baixa densidade, alternadas com regiões de elevada concentração local. Este resultado compreende a unidade denominada de Área Insular e a que abrange os Canais da Foz (cerca de 33% da área total da RMB). As bacias mais impactadas são: Canais de Drenagem I (70,57%), Igarapé São João (52,26%), Rio Caraparu (54,42%), Rio Benfica (73,33%), Rio Paricatuba (97,07%) e Rio Araci (53,02%); nestas predominam as formas de uso da terra sobre os sistemas hídricos locais, comprometendo os municípios de Benevides (79,57%) e Marituba (67,43%). Logo, a evolução do espaço urbano na RMB, suas consequências ambientais e de manutenção do potencial hídrico atual e futuro, dependem da gestão do território associada à dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Zoneamento; Escoamento superficial; Precipitação pluviométrica; Uso da terra.

Abstract

This work aimed to elaborate the zoning of the hydro-territories of the Metropolitan Region of Belém, identifying the areas of the greatest threat to water sustainability in the forming hydrographic basins. The methodology used the association between the spatial distribution of the drainage network, the digital elevation model, the rainfall, and the expansion of urban infrastructure and road design, to generate integrated zoning. The results indicated that the areas with a better tendency for expansion in the RMB are in topographic dividers. Most of the region (64.70%) is located in areas of greater rainfall and runoff, with variable occupation density, with a predominance of low-density areas, alternating with regions of high local concentration. This result comprises the unit called the Insular Area and the one that covers the Canals of Foz (about 33% of the total area of RMB). The most impacted basins are Drainage Channels I (70.57%), Igarapé São João (52.26%), Caraparu River (54.42%), Benfica River (73.33%), Paricatuba River (97.07%), and Araci River (53.02%); in these, the forms of land use predominate over local water systems, compromising the municipalities of Benevides (79.57%) and Marituba (67.43%). Therefore, the evolution of urban space in the RMB, its environmental consequences, and the water future potential depend on the territory and water resources management associated.

Keywords: Zoning; Surface runoff; Rainfall precipitation; Land use.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo elaborar la zonificación del hidro-territorio de la Región Metropolitana de Belém, identificando las áreas de mayor amenaza para la sostenibilidad del agua en las cuencas hidrográficas en formación.

La metodología utilizó la asociación entre la distribución espacial de la red de drenaje, el modelo de elevación digital, la precipitación y los cuadros de expansión de la infraestructura urbana y vial, para generar una zonificación integrada. Los resultados indicaron que las áreas con mayor tendencia a la expansión en la RMB se ubican en divisores topográficos. La mayor parte de la región (64,70%) se ubica en áreas de mayor precipitación y escorrentía, con densidad de ocupación variable, con predominio de áreas de baja densidad, alternando con regiones de alta concentración local. Este resultado comprende la unidad denominada Área Insular y la que cubre los Canales de Foz (alrededor del 33% del área total de RMB). Las cuencas más afectadas son: Canales de drenaje I (70,57%), Igarapé São João (52,26%), Río Caraparu (54,42%), Río Benfica (73,33%), Río Paricatuba (97,07%) y Río Araci (53,02%); en estos, las formas de uso del suelo predominan sobre los sistemas de agua locales, comprometiendo los municipios de Benevides (79,57%) y Marituba (67,43%). Por tanto, la evolución del espacio urbano en la RMB, sus consecuencias medioambientales y el mantenimiento del potencial hídrico actual y futuro, dependen de la gestión del territorio asociado al de los recursos hídricos.

Palabras clave: Zonificación; Escorrentía superficial; Precipitación pluvial; Uso del suelo.

1. Introdução

O crescimento das denominadas regiões metropolitanas tem acompanhado a infraestrutura de investimentos na logística de integração municipal, seu benefício está na melhoria da mobilidade entre as cidades e atendimento dos serviços de saúde, educação e investimentos econômicos. Porém, como atesta Soares (2018), o processo de metropolização também pode ser entendido como uma metropolização estendida, com bordas e limites cada vez mais remotos, difusos e imprecisos; gerando a chamada “metropolização do espaço”, compondo um novo engendramento de novos tipos de morfologias urbanas, quem podem ser integradas a diversos conceitos, dentre eles o de bacia hidrográfica.

Ogassawara e Gass (2018) definem a bacia hidrográfica como uma unidade territorial constituída por uma área drenada por um rio principal, tendo a nascente em terrenos íngremes, transitando até a sua foz com seus afluentes, sendo que este ambiente físico está associado aos mais diversificados sistemas ecológicos e antrópicos; logo, passa a compor uma unidade de interação com o ambiente urbano/rural gerando uma grande diversidade de impactos, como abordado por Montañó e Souza (2016).

O hidrotérrio é um conceito criado pela necessidade de se pensar a ocupação geopolítica do espaço geográfico a partir das relações de poder exercidas pelos diferentes sujeitos sociais, tendo a água como elemento integrador, como destacam os trabalhos de Bermúdez (2010), Afonso (2015), Damonte-Valencia (2015) e Hermano e Fonseca (2019). Segundo Torres e Vianna (2008) o hidrotérrio tem uma formação territorial que pode assumir dimensões e delimitações múltiplas, vinculadas (ou não) a uma disputa que resulta na geração de conflitos pela sua posse e controle por causa da implantação de grandes obras hídricas. Boelens et al (2016) e Hommes et al (2019) aplicam o mesmo conceito, denominando de “hydrosocial territories”, onde os aspectos tecnológicos e de infraestrutura hídrica costumam estar intimamente ligados às entidades governamentais que combinadas, desempenham um papel fundamental na formação de territórios hidrossociais que interferem na disponibilidade hídrica nos ambientes rural e urbano.

A avaliação segundo o escoamento superficial é necessária, pois as ocupações atingem tanto os cursos d'água, quanto os canais de fluxo associados ao escoamento concentrado da água das chuvas. Desta forma, analisar a questão hídrica e as cidades, também passa pela necessidade de se considerar os efeitos decorrentes do período mais e menos chuvoso, e o conjugado com as marés.

Um instrumento adotado nesta avaliação é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que representa a geometria do relevo, onde pode-se definir a direção do fluxo da água e calcular as áreas de contribuição (Marion et al, 2015; Macêdo & Surya, 2018). Reis et al (2019) apontam a relevância do uso das geotecnologias para pesquisas, planejamento e gestão dos recursos naturais em áreas com extremos climáticos e uso acentuado da terra.

O modo com que o processo de expansão urbana vem ocorrendo na Amazônia acentua ainda mais os problemas

socioeconômicos e ambientais nas cidades (Becker, 2005). E no âmbito das regiões metropolitanas amazônicas o problema é mais agravante, pois a vasta rede de drenagem pressiona os espaços destinados as cidades, com a existência de áreas restritas que representariam o mínimo de proximidade com um canal de escoamento hídrico (Torres & Vianna, 2008; Afonso, 2015; Boelens et al, 2016).

Desta forma, a construção de zoneamentos possibilita o mapeamento de áreas críticas e orienta o planejamento territorial das cidades. A associação entre os fatores limitantes do meio físico e as demandas sociais é essencial para a redução de riscos a desastres naturais e induzidos pela atividade antrópica, com a atenuação das vulnerabilidades (Damonte-Valencia, 2015).

A Região Metropolitana de Belém (RMB) localiza-se em uma região de elevado índice pluviométrico (Gille & Mota, 2014), sazonalmente sujeita a marés altas e a dinâmica intensa do estuário-foz da bacia Amazônica, o que traduz uma situação constante de exposição aos perigos vinculados a ação integrada das águas superficiais e atmosféricas. O objetivo deste trabalho foi elaborar o zoneamento do hidroterritório da Região Metropolitana de Belém, identificando as áreas de maior ameaça a sustentabilidade hídrica nas bacias hidrográficas formadoras.

2. Metodologia

A metodologia proposta é centrada no fenômeno do crescimento das cidades em áreas de forte presença hídrica, seja pelas águas superficiais, subterrâneas ou meteóricas; traduz-se em uma avaliação qualitativa e quantitativa (Estrela, 2018), por buscar a caracterização de processos, por elementos que os quantifique e descrevam seu funcionamento, sua estruturação foi baseada nos trabalhos de Hora e Gomes (2009), Goerl et al (2012) e Silveira et al (2014).

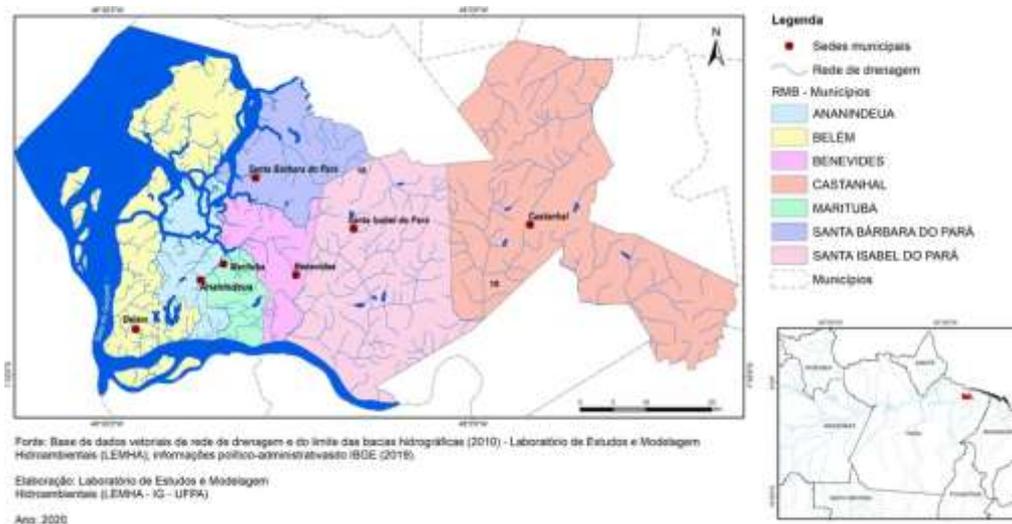
A Região Metropolitana de Belém (RMB) está localizada a nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental (Figura 1). Apesar de corresponder a um território de menos de 1% do estado do Pará, concentra 1/3 da população estadual (IBGE, 2010). A RMB é composta por 7 municípios (Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara, Santa Izabel) concentrando aproximadamente 40% da economia e 35% da população do estado. Fisicamente compõe uma região localizada no estuário-foz do rio Amazonas, limitada a sul pelo rio Guamá e a oeste pela Baía do Guajará. Sua topografia é marcada por baixas altitudes, que configuram um amplo sistema de várzea, com um conjunto de ilhas periféricas. Segundo CODEM (2012), o município de Belém apresenta 42 ilhas (333 km²), tendo desta forma, uma importante faixa de contribuição insular, sujeita a ação das marés e a sazonalidade das chuvas.

Carmo e Costa (2017) destacam que a RMB apresenta uma taxa de crescimento significativa (maior que 60%), onde Belém se sobrepõe aos demais municípios, com uma população urbana estimada em 1.381.475 habitantes, sendo seguida por Ananindeua (471.980 habitantes), Castanhal (173.149 habitantes), Marituba (108.246 habitantes), Santa Isabel do Pará (59.466 habitantes), Benevides (51.651 habitantes) e Santa Bárbara do Pará (17.141 habitantes).

A cartografia base do Sistema de Informação Geográfica (SIG) associado a pesquisa foi composta por:

- Modelo digital de elevação: SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 30 m. De acordo com Cardoso et al (2016) o STRM tem tido uma vasta utilização voltada para o sensoriamento remoto, principalmente na análise ambiental.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo: Região metropolitana de Belém-PA.



Fonte: Autores (2021).

- Rede de drenagem: elaborada para este trabalho, considerando as bases pré-existentes do IBGE (2017) na escala 1:250.000.
- Precipitação pluviométrica: serão adotados os dados do GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*), para uma série histórica de 30 anos, considerando o grid de $1^\circ \times 1^\circ$. Todos os produtos GPCC referem-se a conjuntos de dados de precipitação em grades, com base em medidores para a superfície terrestre global, correspondem a um banco de dados com mais de 97.000 estações (Passow, 2010). No trabalho foi utilizado dados de um período de 30 anos (1988-2018), interpolados espacialmente.
- Distribuição das informações territoriais: limites municipais, sedes municipais, capital estadual, localidades, vias de acesso (incluído de estradas a vicinais), portos, hidrovias, pontes e demais elementos de infra-estrutura viária, extraídos do IBGE (2017).

Os dados foram processados e analisados segundo rotinas do Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA-UFPA). As principais etapas executadas foram (Figura 2):

- Elaboração do Modelo Digital de Elevação (DEM), considerando a resposta do SRTM, com a análise seguindo os procedimentos descritos em Macêdo e Surya (2018).
- Detalhamento da rede de drenagem e das bacias hidrográficas componentes, considerando o DEM elaborado e a base preliminar do IBGE (2017). A rede obtida foi analisada segundo a Densidade de Drenagem (utilizando o Índice de Kernel), tendo sido definidos valores de área e perímetro das bacias hidrográficas e gradiente dos canais a partir da variação altimétrica produzida pelo DEM (Valeriano et al, 2006; Duong, 2007; Sukristiyanti et al, 2018).
- Construção geoespacial das informações em SIG, utilizando análises de densidade (Índice de Kernel), para avaliação dos principais vetores de ocupação: ocupação (localidades, sedes municipais e a capital do estado) e logística (estrada, vicinais, hidrovias, incluindo portos e pontes).
- Cruzamento por superposição cartográfica (Zuquette & Gandolfi, 2004) dos agrupamentos relativos à rede de drenagem e aos vetores de ocupação com classificação dos territórios hídricos de maior impacto. Neste caso, as unidades definidas poderão agrupar diferentes bacias hidrográficas, pois o cruzamento dar-se-á entre duas unidades como espacialização diferenciadas, a bacia hidrográfica e as zonas de expansão territorial; gerando assim como produto a definição de territórios hídricos e seu grau de impacto.

Figura 2 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Autores (2021).

Desta forma, na avaliação das áreas de maior influência das águas, onde seria potencializada a aplicação do conceito de hidrotérrio, foi utilizada a técnica de álgebra cartográfica por superposição de mapas, incluindo os produtos de altimetria, densidade de drenagem, distribuição das chuvas e densidade de ocupação; que permitem identificar as áreas onde ocorre o maior confronto entre as águas e a urbanização. Onde a proposição **(a)** é referente ao fornecimento de água via escoamento hídrico e pluviometria e a **(b)** a ocupação territorial. Estes foram definidos para este trabalho, com base nas discussões de Hora e Gomes (2009), Goerl et al (2012) e Silveira et al (2014):

- Classe 1 (Maior relevância hídrica e menor pressão pela ocupação): **(a)** Áreas favoráveis ao escoamento hídrico e de maior pluviometria. **(b)** Áreas densidade de ocupação variável, com predomínio de zonas de baixa densidade, alternadas com regiões de concentração local.
- Classe 2 (Relevância de hídrica e moderada pressão pela ocupação): **(a)** Áreas com comportamento heterogêneo quanto ao escoamento hídrico, com variação da distribuição pluviométrica. **(b)** Áreas densamente ocupadas.
- Classe 3 (Menor relevância hídrica e maior pressão pela ocupação): **(a)** Áreas marcadas pela presença dos divisores topográficos dos cursos d'água envolvidos e de menor pluviometria. **(b)** Áreas densamente ocupadas, com potencial de conexão.

3. Resultados e Discussão

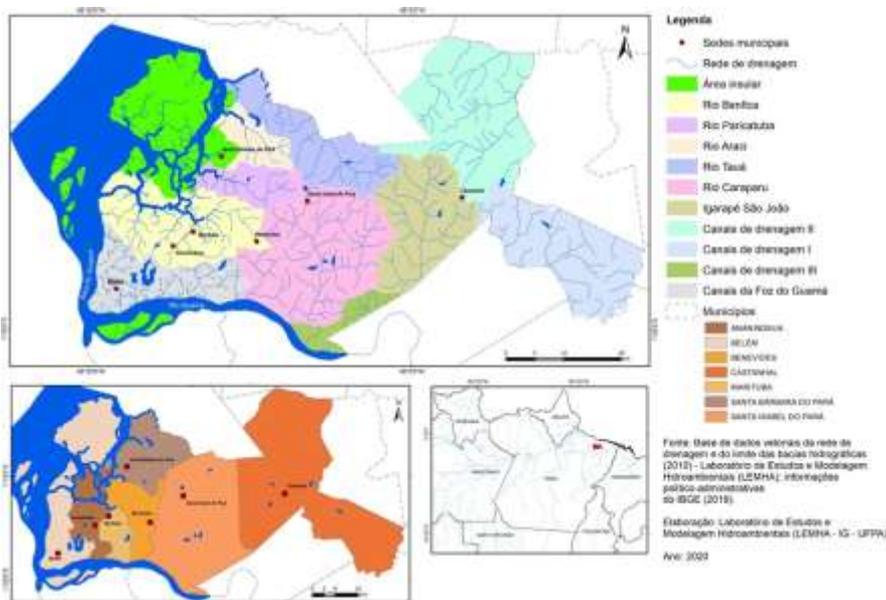
A Figura 3 apresenta a rede de drenagem e as bacias delimitadas para a RBM. Estas representam as principais unidades hídricas identificadas, sendo compostas pelas bacias dos rios Tauá, Araci, Paricatuba, Benfica, Caraparu e pelo igarapé São João. Além, de compor um conjunto que marca o escoamento em direção a foz do rio Guamá e a baía do Guajará, denominados de Área Insular (21,53%) e Canais da Foz do rio Guamá (11,38%). Destaca-se estas duas unidades totalizam cerca de 1/3 da área total da RBM.

Como o município é a unidade de análise, existem canais que ficaram sem uma definição geométrica de bacia e foram denominados de Canais de drenagem I, II e III. A Tabela 1 apresenta a área destas regiões, que vão marcar o contexto de território hídrico. E a Tabela 2 o destaque dos principais municípios formadores, identificando 8 municípios que detêm mais que 40% do seu território drenado por uma bacia, como é o caso dos componentes principais da bacia do rio Benfica

(Ananindeua, Benevides e Marituba). A distribuição da rede de drenagem configura áreas densamente drenadas bem definidas, como apresenta a Figura 4. O resultado da aplicação do índice de densidade de Kernel resultou em uma gradação da densidade de drenagem de 0 a 2,5 km/km², marcando as principais sub-bacias da região. Destaca-se que este indicador pode variar conforme a densidade da rede hidrográfica mapeada.

Como o município de Belém perdeu muito dos seus sistemas naturais para a urbanização, o quadro atual não retrata a densidade hídrica pretérita da região, como destaca Ponte (2015). Este autor apresenta o conceito de “*usos da água no território*” como vinculado a “*espaços politicamente delimitados, ainda que não formalmente, com conteúdo históricos, culturais, econômicos, técnicos e sociais*”, onde na “*Belém da virada do século XIX para o século XX, as águas passaram a ser águas técnicas*”, e inicia-se o processo de retificação de canais e impermeabilização de áreas, com o aterramento de áreas sujeitas a alagamentos sazonais.

Figura 3 - Rede de drenagem e sub-bacias: Região Metropolitana de Belém.



Fonte: Autores (2021).

Tabela 1 - Área e perímetro das sub-bacias caracterizadas.

| Denominação | Perímetro (km) | Área em km ² | Área em % da área total da RMB |
|------------------------|----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Canais de drenagem I | 103,07 | 336,94 | 9,44 |
| Igarapé São João | 80,48 | 286,58 | 8,03 |
| Canais de drenagem III | 59,09 | 77,99 | 2,18 |
| Rio Caraparu | 109,15 | 479,86 | 13,44 |
| Canais da Foz do Guamá | 113,29 | 406,35 | 11,38 |
| Rio Benfica | 106,63 | 353,92 | 9,92 |
| Área insular | 146,55 | 768,62 | 21,53 |
| Rio Paricatuba | 49,45 | 98,23 | 2,75 |
| Rio Araci | 51,12 | 85,33 | 2,39 |
| Rio Tauá | 98,96 | 230,25 | 6,45 |
| Canais de drenagem II | 112,73 | 445,32 | 12,48 |

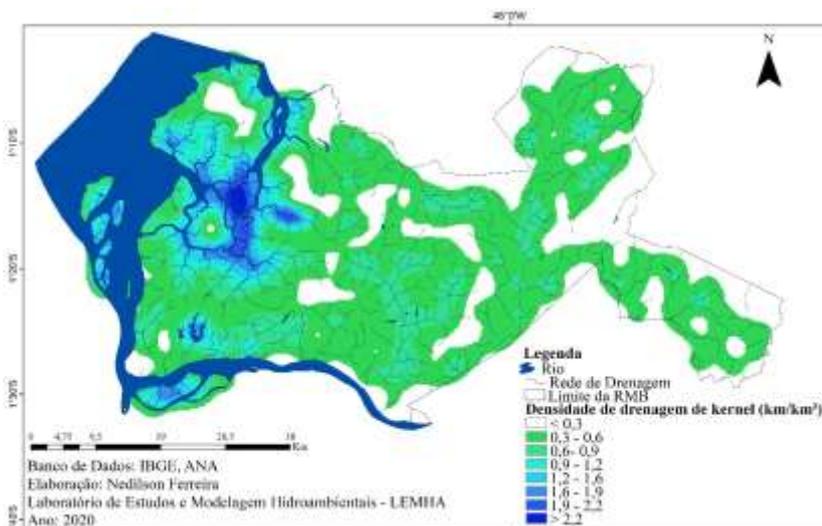
Fonte: Autores (2021).

Tabela 2 - Municípios componentes por sub-bacia.

| Nome do Município | Área (município) em km ² | Unidades | Área (na unidade) em km ² | Área (na unidade/município) em % |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Castanhal | 1033,59 | Canais de drenagem I | 336,94 | 32,60 |
| Castanhal | 1033,59 | Igarapé São João | 242,35 | 23,45 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | | 44,23 | 6,15 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | Canais de drenagem III | 77,99 | 10,84 |
| Benevides | 189,30 | Rio Caraparu | 33,00 | 17,43 |
| Castanhal | 1033,59 | | 0,67 | 0,07 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | | 446,19 | 62,01 |
| Ananindeua | 185,26 | Canais da Foz do Guamá | 39,54 | 21,34 |
| Belém | 1069,69 | | 292,16 | 27,31 |
| Benevides | 189,30 | | 23,22 | 12,27 |
| Marituba | 103,56 | | 51,42 | 49,65 |
| Ananindeua | 185,26 | Rio Benfica | 104,24 | 56,27 |
| Belém | 1069,69 | | 107,21 | 10,02 |
| Benevides | 189,30 | | 89,24 | 47,14 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | | 1,15 | 0,16 |
| Marituba | 103,56 | | 52,08 | 50,29 |
| Ananindeua | 185,26 | | 40,90 | 22,08 |
| Belém | 1069,69 | Área insular | 668,80 | 62,52 |
| Benevides | 189,30 | | 3,54 | 1,87 |
| Santa Bárbara do Pará | 279,30 | Rio Paricatuba | 55,38 | 19,83 |
| Benevides | 189,30 | | 40,33 | 21,31 |
| Santa Bárbara do Pará | 279,30 | | 40,26 | 14,41 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | Rio Araci | 17,64 | 2,45 |
| Santa Bárbara do Pará | 279,30 | | 82,28 | 29,46 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | Rio Tauá | 3,05 | 0,42 |
| Belém | 1069,69 | | 0,38 | 0,04 |
| Castanhal | 1033,59 | | 5,22 | 0,51 |
| Santa Bárbara do Pará | 279,30 | | 224,64 | 80,43 |
| Castanhal | 1033,59 | Canais de drenagem II | 442,90 | 42,85 |
| Santa Isabel do Pará | 719,51 | | 2,42 | 0,34 |

Fonte: Autores (2021).

Figura 4 - Densidade de drenagem. Região Metropolitana de Belém - PA.

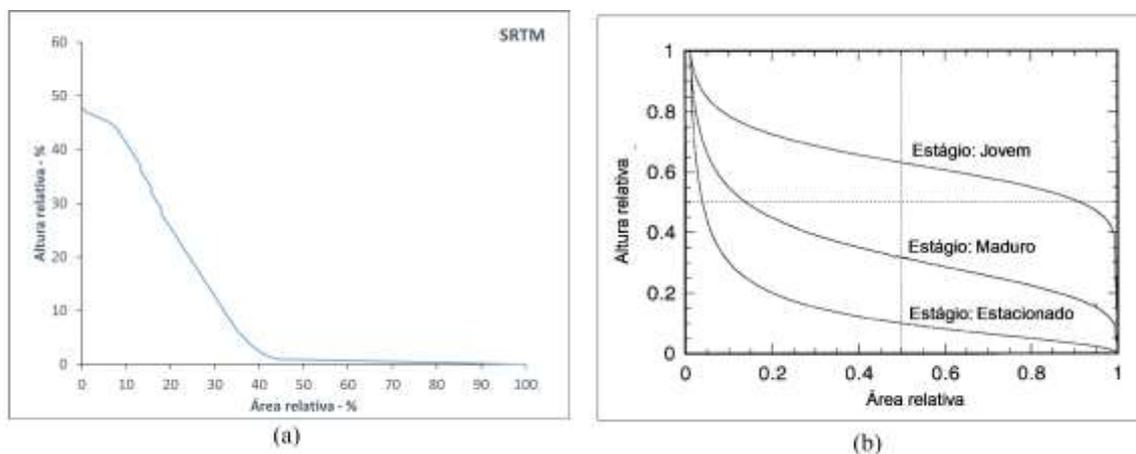


Fonte: Autores (2021).

Almeida (2011) apresenta um resgate histórico que permite entender a antropização como elemento de influência nos sistemas hídricos, assumindo o crescimento urbano de Belém. Destaca-se como pontos principais: no século XVII e início do XIX, Belém era intensamente drenada, com a presença de uma grande área alagada o “*alagado Piri*”, descrito como “*terreno de aluvião muito baixo inteiramente horizontal, em que duas vezes por dia penetravam livremente as águas da preamar*”; com a ampla influência das águas das chuvas regulares e seus os acúmulos, uma vez que a esta era repleta de terrenos baixos e áreas consideradas pantanosas, algumas delas denominadas igapós, onde os igarapés a percorriam por diversas partes; “*o espaço da cidade era formado por dois acidentes hidrográficos, o igapó e o igarapé do Piri, que embora distintos formavam uma unidade ou conjunto geográfico dentro do quadro urbano*”; tais condições levaram em 1803 ao “*dessecamento do Piri*” pois, segundo relatado “*o terreno é ligeiramente ondulado, de forma que as áreas secas se alternam com os trechos pantanosos, sendo um local de abrigo para insetos de inúmeras espécies, além de impregnar o ar com vapores pestíferos, emanados de suas permanentes águas*”. Desta forma, o hidroterritório de Belém foi mudando e sendo adequado a um crescimento populacional que demandava por locais propícios para moradia. Neste ponto, os aspectos topográficos foram significativos.

A Figura 5 indica que segundo a classificação apresentada em Harsha et al (2020), a curva traduz uma fase estacionada, com menor ação de forças erosivas e maior ação dos processos de acreção, o que representa um agravante para o componente hídrico superficial (pluvial e fluvial) quando analisado em áreas alteradas pelo antropismo, pois há um forte potencial deste reativar os processos erosivos na região.

Figura 5 - Curvas hipsométrica segundo (a) imagem SRTM; (b) Modelo de comportamento hipsométrico de Harsha et al (2020).

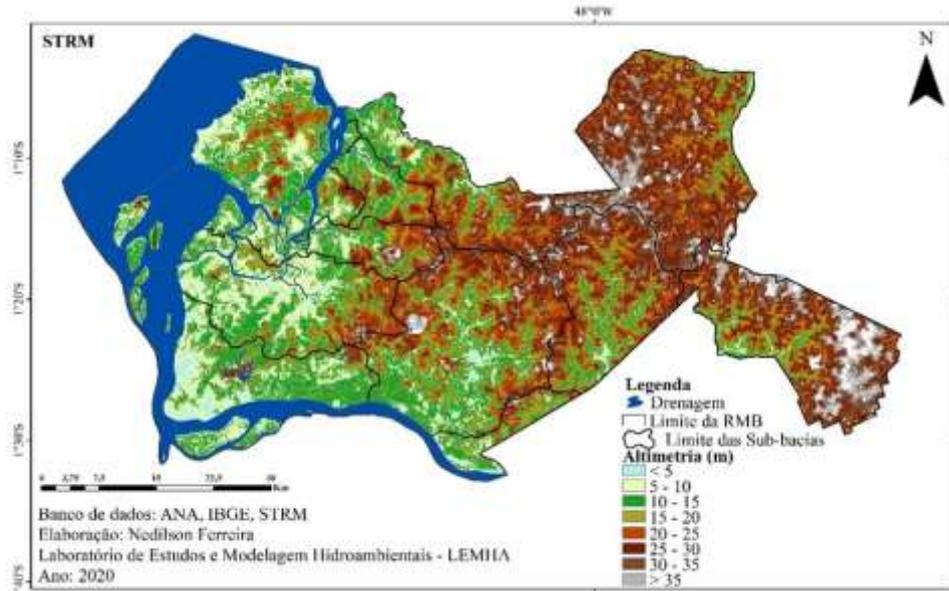


Fonte: Autores (2021).

A RMB tem como característica as baixas altitudes (Figura 6), que se refletem na distribuição espacial das declividades (Figura 7). Nakahori e Souza (2012) e Carvalho Júnior et al (2014) também realizaram a análise usando o SRTM e destacaram que no caso específico da região por eles avaliada, o SRTM produziu melhor resultado mesmo admitindo as topografias mais planas.

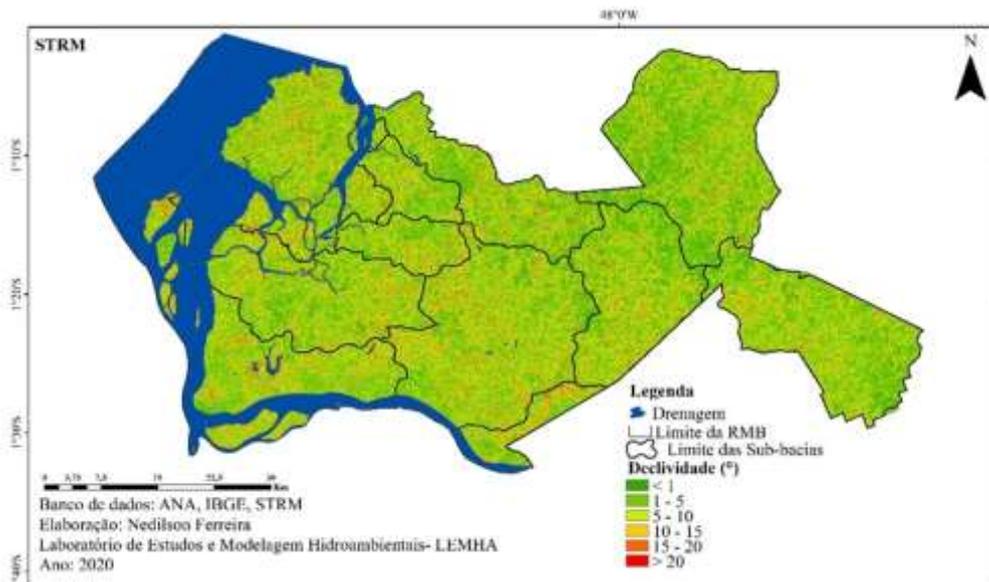
A Tabela 3 apresenta melhor a variação observada quanto a altimetria e as Tabelas 4 e 5 ilustram a síntese com as informações estatísticas de altimetria e declividade. Em relação as variações altimétricas, as maiores variações estão nas bordas da bacia (no conjunto de canais de drenagem) e no igarapé São João, sendo expressiva esta variação.

Figura 6 - Carta altimétrica da Região Metropolitana de Belém.



Fonte: Autores (2021).

Figura 7 - Carta de declividade da Região Metropolitana de Belém.



Fonte: Autores (2021).

Tabela 3 - Relação percentual entre a distribuição das classes de altimetria.

| Classes (m) | % |
|-------------|------|
| ≤ 5 | 20,7 |
| 5-15 | 11,9 |
| 15-25 | 19,6 |
| ≥ 25 | 47,8 |

Fonte: Autores (2021).

Tabela 4 - Síntese estatística para altimetria.

| Sub-bacia | Área (km ²) | SRTM | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------|
| | | Variação altimétrica (m) | Média altimétrica (m) | Desvio padrão |
| Rio Tauá | 230,24 | 68 | 29,68 | 11,59 |
| Rio Araci | 85,31 | 58 | 25,29 | 8,74 |
| Rio Paricatuba | 98,23 | 65 | 27,47 | 11,26 |
| Rio Benfica | 353,88 | 61 | 17,34 | 10,79 |
| Rio Caraparu | 479,50 | 66 | 28,00 | 11,47 |
| Ig. São João | 286,59 | 61 | 33,98 | 10,07 |
| Canais da Foz do Guamá | 404,49 | 71 | 11,07 | 9,62 |
| Área insular | 767,30 | 59 | 8,57 | 10,80 |
| Canais de drenagem I | 335,15 | 70 | 40,77 | 11,08 |
| Canais de drenagem II | 444,48 | 63 | 39,56 | 8,57 |
| Canais de drenagem III | 77,28 | 64 | 19,74 | 12,15 |

Fonte: Autores (2021).

Tabela 5 - Síntese estatística para declividade.

| Sub-bacia | Área (km ²) | SRTM | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| | | Variação de declividade (m) | Média de declividade (m) | Desvio padrão |
| Rio Tauá | 230,24 | 22 | 2,79 | 2,07 |
| Rio Araci | 85,31 | 18 | 2,78 | 1,93 |
| Rio Paricatuba | 98,23 | 19 | 2,99 | 2,08 |
| Rio Benfica | 353,88 | 26 | 2,77 | 2,28 |
| Rio Caraparu | 479,50 | 21 | 3,07 | 2,16 |
| Ig. São João | 286,59 | 17 | 2,81 | 1,95 |
| Canais da Foz do Guamá | 404,49 | 40 | 2,31 | 2,60 |
| Área insular | 767,30 | 34 | 1,58 | 2,46 |
| Canais de drenagem I | 335,15 | 17 | 2,70 | 1,79 |
| Canais de drenagem II | 444,48 | 24 | 2,96 | 2,54 |
| Canais de drenagem III | 77,28 | 21 | 2,55 | 1,83 |

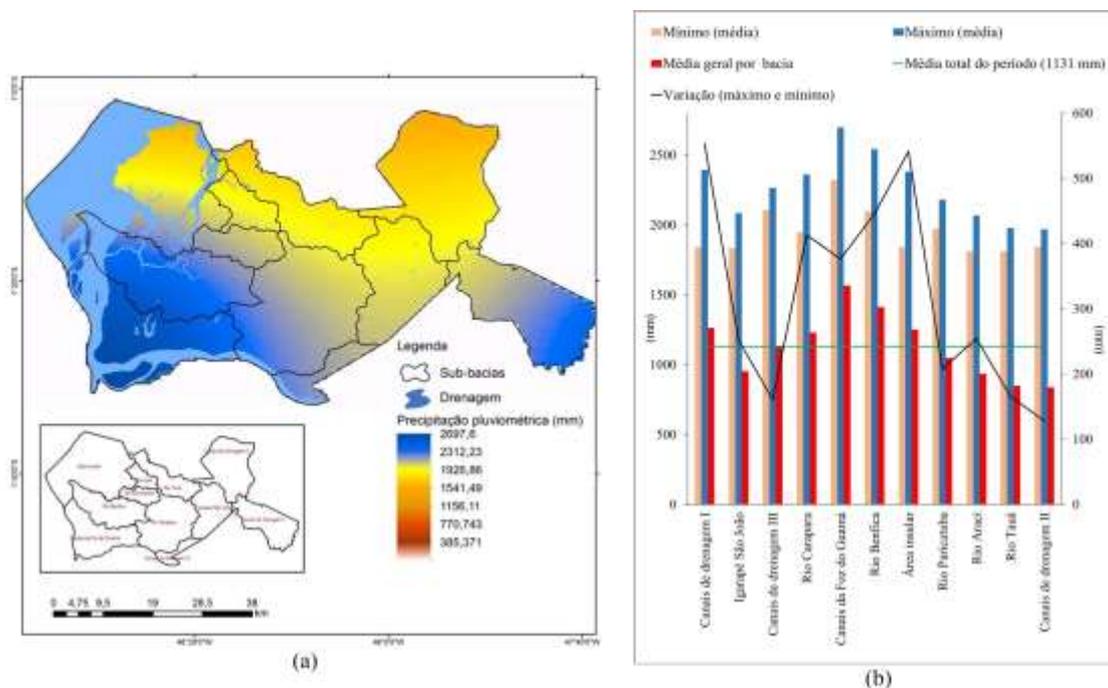
Fonte: Autores (2021).

A altimetria é fundamental para compreensão da dinâmica das águas, principalmente do escoamento superficial decorrente da ação da precipitação pluviométrica, uma vez que não foram selecionados mecanismos para avaliar o efeito de cobertura das marés, assim o comportamento cruzado entre a geometria do escoamento e da influência das chuvas é a alternativa proposta de investigação.

A climatologia da RMB é caracterizada por temperatura máxima e mínima do ar de 31°C e 24°C, precipitações pluviométricas anuais de 3.100 mm e umidade relativa do ar de 84% (INMET, 2020). Nesta região a precipitação é causada por linhas de instabilidade formadas ao longo da Costa Atlântica (Alcântara et al, 2011), sistema convectivos forçados localmente (Cohen et al, 2014) e também sistema atmosféricos de grande escala, tal como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que define os períodos chuvosos e menos chuvosos (Ferreira et al, 2015).

Segundo Oliveira et al (2020) em função da localização da RMB observa-se a advecção da umidade do ar, onde a rugosidade de superfície facilita que o sistema que se mobilize por mais tempo; os autores também destacam que em áreas urbanas o calor extra armazenado na superfície pelo asfalto, concreto, aço e outros materiais comuns facilitam o desenvolvimento de sistemas convectivos locais mais fortes que produzem grande quantidade de chuva. A Figura 8 ilustra a distribuição espacial da precipitação pluviométrica na RMB, considerando a média do acumulado anual.

Figura 8 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica na RMB, média do acumulado anual (1988 - 2018). Avaliação segundo (a) distribuição espacial; (b) e as sub-bacias componentes.

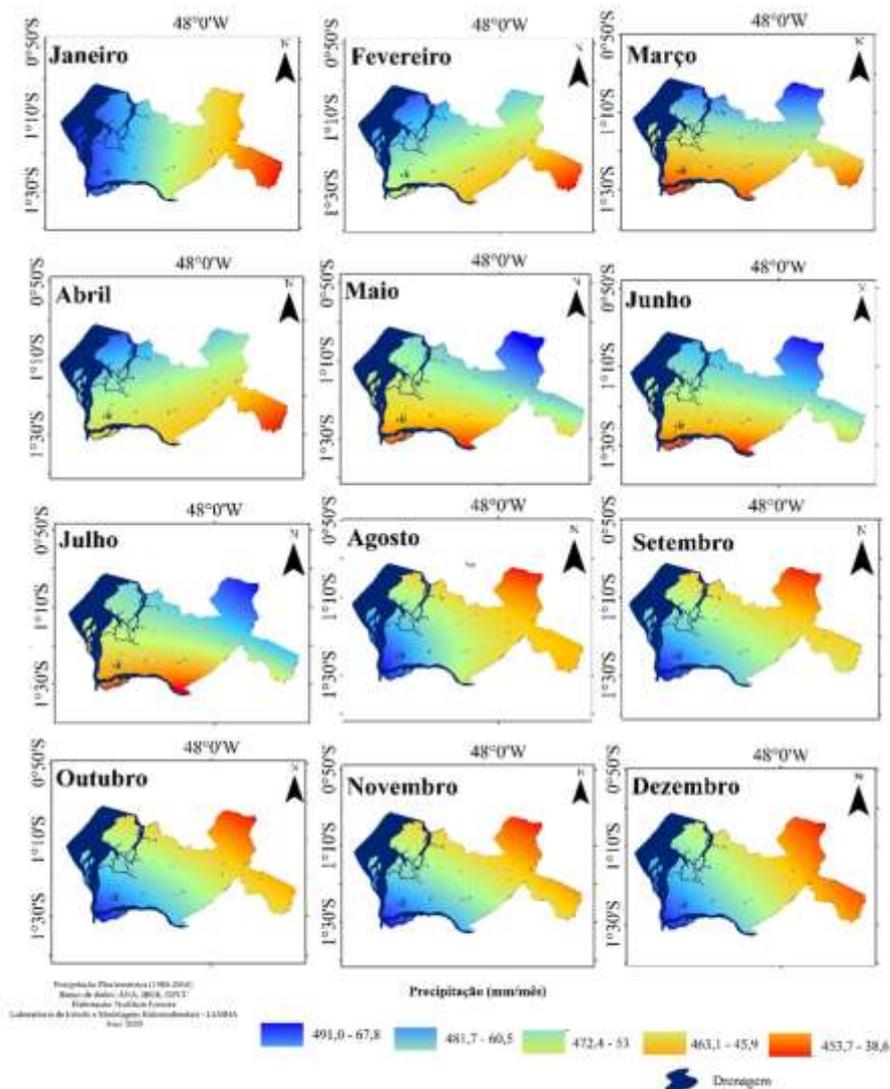


| Unidades | Acumulado de precipitação pluviométrica (mm) | | | Variação (valores máximos) em torno da média geral (1131 mm) | Variação em torno da média geral (%) - máximo | Variação em torno da média geral (%) |
|------------------------|--|---------|----------|--|---|--------------------------------------|
| | Mínimo | Máximo | Variação | | | |
| Canais de drenagem I | 1840,72 | 2394,05 | 553,33 | 1263,04 | 47,24 | 48,92 |
| Igarapé São João | 1832,56 | 2084,68 | 252,12 | 953,67 | 54,25 | 22,29 |
| Canais de drenagem III | 2105,19 | 2265,68 | 160,50 | 1134,68 | 49,92 | 14,19 |
| Rio Caraparu | 1946,44 | 2359,79 | 413,35 | 1228,79 | 47,93 | 36,55 |
| Canais da Foz do Guamá | 2321,24 | 2697,60 | 376,36 | 1566,59 | 41,93 | 33,28 |
| Rio Benfica | 2097,21 | 2543,09 | 445,88 | 1412,08 | 44,47 | 39,42 |
| Área insular | 1840,72 | 2382,31 | 541,60 | 1251,31 | 47,48 | 47,89 |
| Rio Paricatuba | 1972,13 | 2179,54 | 207,41 | 1048,53 | 51,89 | 18,34 |
| Rio Araci | 1811,56 | 2065,96 | 254,40 | 934,96 | 54,74 | 22,49 |
| Rio Tauá | 1811,56 | 1977,48 | 165,91 | 846,47 | 57,19 | 14,67 |
| Canais de drenagem II | 1840,72 | 1968,30 | 127,59 | 837,30 | 57,46 | 11,28 |

Fonte: Autores (2021).

Os volumes pluviométricos variam de norte (1.434,0 mm a 1686,7 mm), para sul (2.697,6 mm a 2.444,8 mm), com o município de Belém, estando na região mais intensamente afetada pelas chuvas. A Figura 9 apresenta a distribuição pluviométrica mensal da RMB aonde o trimestre mais chuvoso (Fer - Mar - Abr) é marcado com os maiores volumes pluviométrico (384,5 mm - 491,0 mm - 408,1 mm). E a estação menos chuvosa (Ago - Set - Out) com valores de precipitação, variando entre 96,7 mm, 40,6 mm e 38,6 mm. A média geral do acumulado anual registrada para RMB foi de 1131 mm. A variação em torno da média (relativa aos valores máximos) é superior a 40% em todas as sub-bacias, o que representa a entrada de um volume significativo de chuvas no período. Já a variação (máximo-mínimo, por sub-bacia) em torno da média geral, foi acima de 40% para os Canais de drenagem I e para a Área insular, onde a primeira representa a região que tende ao médio curso do rio Guamá (bacia hidrográfica principal) e a segunda, localiza-se em sua foz, o que demonstra uma variação interna de comportamento, com a aumento do quantitativo de chuvas reduzindo segundo E-NE e aumentando segundo O-SO.

Figura 9 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica na RMB, média do acumulado mensal (1988 - 2018).



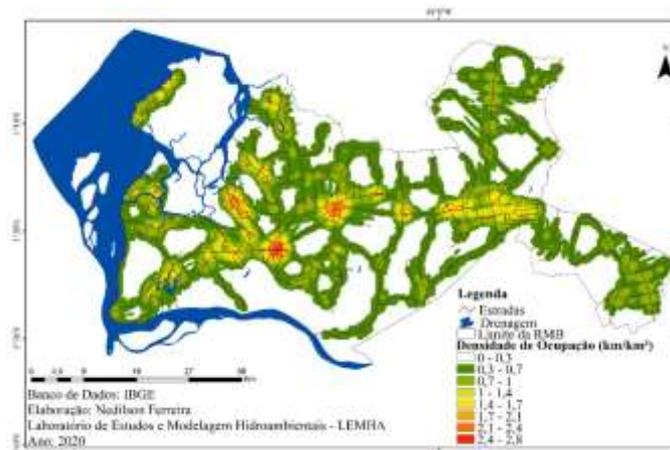
Na Figura 9 é possível verificar que a região denominada Canais de drenagem I permanece com os menores volumes médios mensais de chuva. A sub-bacia do rio Benfica tende a acompanhar um máximo de variação, neste caso, deve-se a sua dimensão associada ao posicionamento espacial E-W, que tende a concentrar a maior gradação.

Santos et al. (2017) utilizando os dados de chuvas do *Center Morphing Method* (CMORPH) obtiveram um padrão similar, destacando a estação chuvosa (janeiro, fevereiro, março e abril) como vinculada à atuação da Zona de Convergência Intertropical e ao seu deslocamento mais ao sul, durante os meses março e abril, contribuindo para o mês climatológico mais chuvoso da região; uma estação de transição nos meses de maio, junho, julho e agosto; e pôr fim a estação menos chuvosa nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, com uma redução significativa da chuva na região, influenciada pela ausência de sistemas precipitantes de grande escala, permitindo a ação dos ventos alísios, inibidores da formação de nuvens.

Definido o comportamento do escoamento das águas segundo as unidades hídras, parte-se para discussão do processo de uso da terra a partir da espacialização das suas formas de ocupação. Na análise do efeito do hidroterritório faz-se necessário entender o processo de ocupação social e econômica na RMB.

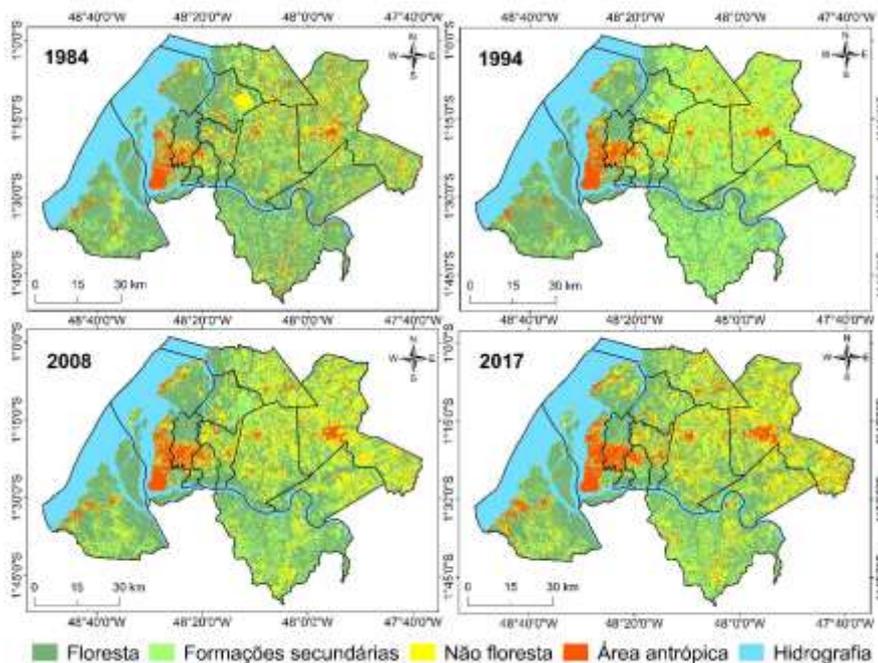
A Figura 10 apresenta a distribuição da densidade de ocupação ao longo da RBM, com valores variando 0 a 2,8 km/km², tendo uma densidade caracterizada segundo a espacialização horizontal na região. O resultado é compatível com o padrão detectado por Costa e Lima (2018) para na avaliação da relação entre do desenvolvimento urbano da mesorregião Metropolitana de Belém (MRMB) e as mudanças de uso cobertura da terra, onde as variações são contínuas de 1984 a 2017, com as Áreas Antrópicas (AA) passando de 577,29 km² (8,39%) para 548,54 km² (7,95%), estas juntamente com as denominadas de “Não Floresta (NF)”, reforçam o crescimento expressivo da alteração (8,78% - 1984, 19,19% - 2017) na região (Figura 11).

Figura 10 - Densidade de ocupação territorial: Região Metropolitana de Belém.



Fonte: Autores (2021).

Figura 11 - Distribuição espaço-temporal das classes de uso e cobertura da terra na mesorregião Metropolitana de Belém (MRMB).



Fonte: Autores (2021).

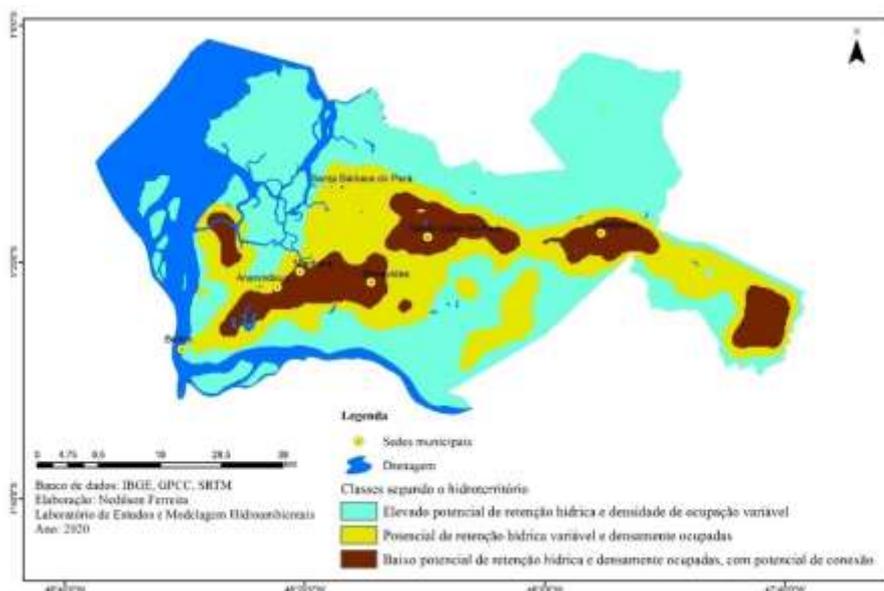
De posse dos principais produtos considerados chaves na metodologia, parte-se para análise integrada. A Tabela 6 apresenta a síntese do produto gerado a partir de álgebra de mapas por superposição cartográfica, com a respectiva classificação aplicada por categoria. Estas buscaram atender os critérios inicialmente definidos, visando a melhor resposta para o zoneamento. A Figura 12 apresenta o resultado final do processamento, com destaque para as áreas: (1) com menores topografias, mais densamente drenadas, com maior acúmulo de chuvas e menor densidade de ocupação (64,7% da área total da RMB); e (2) com maiores variações topográficas, de menor retenção de águas, menor acúmulo de chuvas e maior densidade de ocupação (11,9% da área total da RMB). Com cerca de 23,4% de áreas com comportamento intermediário.

Tabela 6 - Classificação desenvolvida para este trabalho.

| Classes | Descrição | Altimetria (m) | Densidade de drenagem (km/km ²) | Distribuição das chuvas (mm) | Densidade de ocupação (km/km ²) |
|---------|--|----------------|---|------------------------------|---|
| 1 | (a) Áreas favoráveis ao escoamento hídrico e de maior pluviometria. (b) Áreas densidade de ocupação variável, com predomínio de zonas de baixa densidade, alternadas com regiões de concentração local. | ≤ 12 | ≥ 0,1 | ≥ 1931 | ≤ 0,2 |
| 2 | (a) Áreas com comportamento heterogêneo quanto ao escoamento hídrico, com variação da distribuição pluviométrica. (b) Áreas densamente ocupadas. | 12 a 31 | 0,1 a 0,4 | 1931 a 2268 | 0,2 a 0,7 |
| 3 | (a) Áreas marcadas pela presença dos divisores topográficos dos cursos d'água envolvidos e de menor pluviometria. (b) Áreas densamente ocupadas, com potencial de conexão. | ≥ 31 | ≤ 0,4 | ≤ 2268 | ≥ 0,7 |

Fonte: Autores (2021).

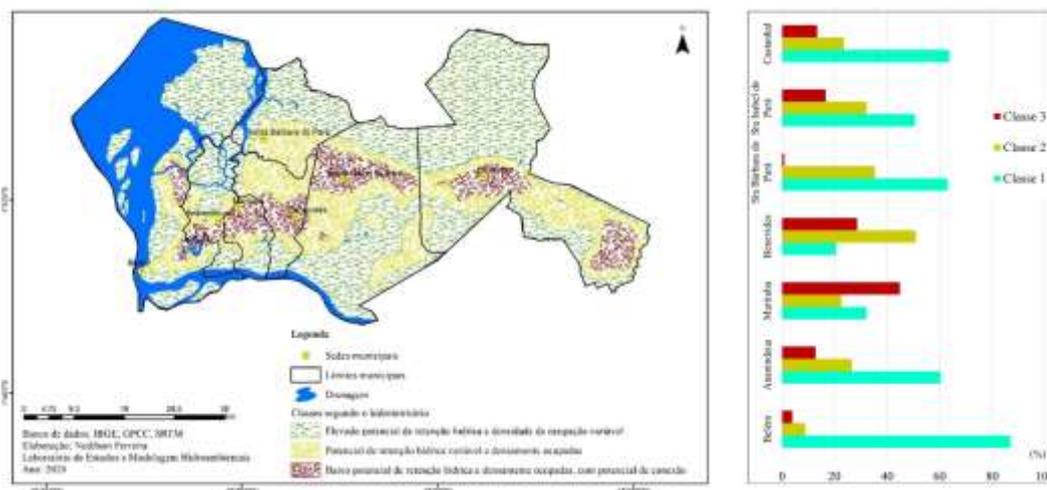
Figura 12 - Zonas segundo as características de hidroterritório.



Fonte: Autores (2021).

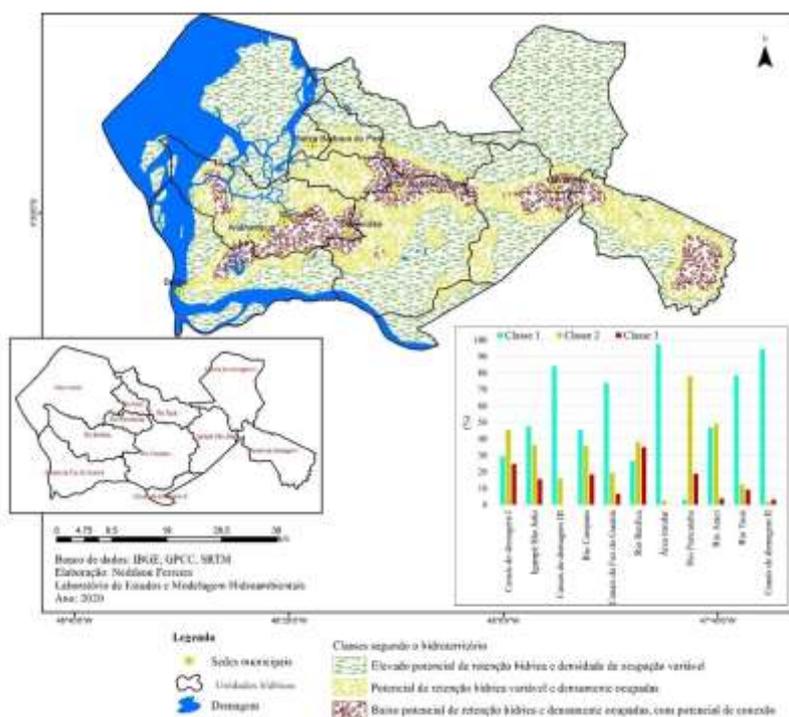
Com relação a categoria da Classe 1, a região central de Belém, destaca-se com um maior adensamento populacional em áreas de baixas topografias, tornando-se assim uma região de exceção neste contexto. Marituba (67,43%) e Benevides (79,57%) são municípios com o aspecto hídrico mais restrito (soma das Classes 2 e 3), onde predominam áreas destinadas ao escoamento das águas e menor retenção (Figura 13). As unidades com maior comprometimento do seu território com as Classes 2 e 3 são (Figura 14): Canais de drenagem I (70,57%), Igarapé São João (52,26%), Rio Caraparu (54,42%), Rio Benfica (73,33%), Rio Paricatuba (97,07%) e Rio Araci (53,02%).

Figura 13 - Relação: municípios x zonas segundo as características de hidroterritório.



Fonte: Autores (2021).

Figura 14 - Relação: unidades hídricas x zonas segundo as características de hidroterritório.



Fonte: Autores (2021).

Na lógica da RMB, a intenção é avaliar o efeito do crescimento da urbanização sobre os sistemas hídricos e como estes impactam o ambiente das cidades. A tendência observada por Costa e Lima (2018) e Costa et al. (2019) demonstra claramente o confronto com os resultados obtidos, uma vez que as áreas de maior tensão da ocupação se impõem de forma indiscriminadas sobre as áreas de maior contribuição hídrica, tornando a urbanização um elemento de alteração do comportamento hidrológico desses sistemas.

A paisagem urbana tem uma relação intrínseca com a dinâmica hidrológica, sua expansão tende a gerar um aumento do ambiente impermeável e o aumento das redes artificiais de drenagem, que geram mudanças no escoamento, levando a um influxo adicional de água e contaminantes para os sistemas naturais; além disto, modificações de declives, elevações, cobertura de solos e vegetal, impactam na forma como a precipitação pluviométrica é capturada, armazenada e liberada para os sistemas hidrológicos (Mcgrane, 2016).

A avaliação da precipitação na escala de bacias hidrográficas demanda que se considere as características que reduzem o tempo de resposta da captação (por exemplo, coeficiente de impermeabilidade, rede de drenagem artificial), onde eliminando a infiltração, ocorre de forma consequente a alteração do volume do escoamento superficial; a natureza variável das contribuições resultantes da combinação do escoamento superficial, fluxo direto e processos de fluxo de base (água subterrânea) são difíceis de serem previstas, exigindo uma análise hidrológica específica, incluindo a avaliação do modelo de uso e cobertura da terra (Fletcher, 2013).

No processo de análise de uso da terra a aplicação do conceito de hidroterritório está associada as relações políticas, econômicas e socioculturais, admitindo a dimensão ambiental; onde a gestão da água no território tende a ser diversificada, sendo acompanhada muitas vezes por conflitos, pela imposição de uma dada “força” sobre as novas ou antigas práticas no território (Hermano & Fonseca, 2019). No contexto da expansão das regiões metropolitanas é relatada uma análise na escala temporal do território, com um típico movimento de avanço e recuo sobre as áreas de captação e produção de água doce, redesenhando a paisagem no hidroterritório (Torres & Vianna, 2008).

Um aspecto a ser destacado, uma vez os 6 municípios avaliados detêm níveis variáveis de comprometimento, é a relação como a qualidade das águas, como discute Mcgrane (2016), a geração do escoamento superficial em áreas urbanas pode carregar um conjunto de contaminantes, incluindo metais pesados, até mesmo poluentes mais complexos, como os de origem microbiana e químicos sintéticos, desta forma, devem ser priorizadas práticas de gestão sustentável e estratégias de *design* urbano cada vez mais sensíveis à importância das águas, a redução dos impactos de eventos pluviais e a criação de áreas de ambientes de restauração ambiental.

A gestão inadequada do território, considerando os ambientes hídricos tem como produto a geração de conflitos diversos, como observado por Afonso (2015) em Minas Gerais, destacando as atividades potencialmente geradoras: industriais (39%), obras de infraestrutura (28,57%), pesca e pecuária (28,57%) e dinâmicas urbanas (3,86%); ressaltando que o acesso à água é um problema que apresenta várias nuances, como também destaca Bermúdez (2010), que afirma que ordenar o recurso hídrico não é apenas a gestão do ciclo da água, onde o estudo do equilíbrio do ciclo da água, além de possuir suas diferentes fases naturais (evaporação, precipitação, infiltração, escoamento, transpiração e armazenamento superficial ou subterrâneo), requer a inclusão do consumo, armazenamento e distribuição para uso para o abastecimento humano, em condições de funcionamento normal de seus grupos sociais.

4. Conclusão

O conceito de hidroterritórios pode ser aplicado a Região Metropolitana de Belém (RMB), sendo útil ao zoneamento voltado para à análise do processo de expansão e conexão das áreas urbanas. Os resultados mostraram o comprometimento

principalmente da zona que abrange as cabeceiras das principais unidades hídricas mapeadas. As regiões mais afetadas foram: Canais de drenagem I, Igarapé São João, Rio Caraparu, Rio Benfica, Rio Paricatuba e Rio Araci; por predominarem as formas de uso da terra sobre os sistemas hídricos, comprometendo principalmente os municípios de Benevides e Marituba.

A pluviometria e a altimetria constituíram importantes indicadores de comportamento, porém o seu estudo deve avançar para a melhor caracterização do efeito das marés e amplitude de nível dos principais curso d'água componentes. A falta de monitoramento fluviométrico é um entrave para a melhor caracterização destas áreas, necessitando do aperfeiçoamento de métodos indiretos de aferição.

Em termos de estudos futuros, a proposta principal é adequar este procedimento de análise aos planos diretores municipais e de ordenamento territorial, com o objetivo de estabelecer áreas de proteção ambiental em torno das unidades hídricas e de preservação dos locais de potencial recarga dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, especialmente as áreas de nascentes e de proteção ecológica, nas várzeas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dado para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Afonso, P. C. S. (2015). Os conflitos do/no Hidroterritório Norte-Mineiro. *Sociedade e Território*, 27(2), 229-250.
- Alcântara, C. R., Silva Dias, M. A. F., Souza, E. P., Cohen, J. C. P. (2011). Verification of the role of low-level jet in Amazon squall lines. *Atmospheric Research*, 100, 36-44. doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.023
- Almeida, C. M. R. (2011). *Belém do Pará, uma cidade entre as águas*: história, natureza e definição territorial em princípios do Século XIX. In: Anais do 26º Simpósio Nacional de História. São Paulo (SP): ANPUH, 1-14.
- Becker, B. K. (2005). Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(53), 71-86. doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005
- Bermúdez, Ó. B. (2010). Agua, territorio y gestión: caminos por recorrer. *Perspectiva Geográfica*, 15, 125-142. doi.org/10.19053/01233769.1735
- Boelens, R., Hoogesteger, J., Swyngedouw, E., Vos, J., Wester, P. (2016). Hydrosocial territories: a political ecology perspective. *Water International*, 41(1), 1-15. doi.org/10.1080/02508060.2016.1134898
- Cardoso, F. A. C., De Paula, D. L. P., Mor, R. C. A. M., Maia, J. L., Vieria, E. M. (2016). Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a bacia do rio Doce: elaboração e análise. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(6), 1978-1989. doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p1978-1989
- Carmo, M. B. S. & Costa, S. M. F. A. (2017). *Expressão Metropolitana da Região Metropolitana de Belém*: ainda há a Cidade Primaz?. In: 17º ENANPUR. Associação Nac. de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 1-18.
- Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Montgomery, D. R., Gillespie, A. R., Gomes, R. A. T., Martins, E. S., Silva, N. C. (2014). Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-Derived Digital Elevation Models in the Bambuí Group, Brazil. *Remote Sensing*, 6(1), 330-351. doi.org/10.3390/rs6010330
- CODEM. (2012). *Caracterização do território*: anuário Estatístico do Município de Belém. v. 17, - Companhia Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém. Belém (PA): Prefeitura Municipal de Belém, 16p.
- Cohen J. C. P., Fitzjarrald D. R., D'Oliveira, F. A. F., Saravaira, I., Barbosa, I. R. S., Gandu, A.W., Kuhn, P. A. (2014). Radar-observed spatial and temporal rainfall variability near the Tapajós-Amazon confluence. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29, 23-30. doi.org/10.1590/0102-778620130058
- Costa, A. M. S. & Lima, A. M. M. (2018). *Mudanças de uso e cobertura da terra na Mesorregião Metropolitana de Belém-PA*. In: 5º Seminário Internacional em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. UFAM, 1-8.
- Costa, A. M. S., Lima, A. M. M., Andrade, M. M. N. (2019). Alterações na paisagem e seus efeitos sobre as áreas de preservação permanente em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(7), 2729-2740. doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2729-2740
- Damonte-Valencia, G. (2015). Redefiniendo territorios hidrosociales: control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 12(76), 109-133.
- Duong, T. (2007). Ks: Kernel density estimation and kernel discriminant analysis for multivariate data in R. *Journal of Statistical Software*, 21(7), 1-16.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia Científica*: Ciência, Ensino, Pesquisa. Artes Médicas, 738p.

- Ferreira, D. B. S., Souza, E. B., Moraes, B. C., Filho, L. G. M. (2015). Spatial and temporal variability of rainfall in Eastern Amazon during the rainy season. *The Scientific Word Journal*, id 209783, 1-9. doi.org/10.1155/2015/209783
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: a state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261-279. doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001
- Gille, F. S. S. & Mota, M. A. S. (2014). Importância das condições termodinâmicas nos eventos extremos de precipitação na cidade de Belém e região metropolitana. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(n.spe), 73-82. doi.org/10.1590/0102-778620130066.
- Goerl, R. F., Kobiyama, M., Pellerin, J. R. G. M. (2012). Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de rio Negro - SC. *Boletim de Geografia*, 30(1), 81-100. doi: 10.4025/bolgeogr.v30i1.13519
- Harsha, J., Ravikumar, A. S., Shivakumar, B. L. (2020). Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. *Applied Water Science*, 10(86), 1-15. doi.org/10.1007/s13201-020-1164-9
- Hermano, V. M. & Fonseca, A. I. A. (2019). Conflitos no hidroterritório do Gorutuba. *Caderno de Geografia*, 29(2), 118-128. doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n2p118-128
- Hommel, L., Boelens, R., Blekker, S., Duarte-Abadía, B., Stoltenborg, D., Vos, J. (2019). Water governmentalities: the shaping of hydrosocial territories, water transfers and rural-urban subjects in Latin America. *EPE: Nature and Space*, 3(2), 399-422. doi.org/10.1177/2514848619886255
- Hora, S. B. & Gomes, R. L. (2009). Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. *Sociedade & Natureza*, 21(2), 57-75. doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005.
- IBGE. (2017). *Bases Cartográficas em Geociências: Cartas e Mapas, Escala 1:250.000*. Rio de Janeiro (RJ): Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em 1 de junho de 2020.
- IBGE. (2010). *Censo demográfico: 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, 211p.
- INMET. (2020). *Normais Climatológicas*. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em www.inmet.gov.br/portal/.
- Macêdo, R. J. A. & Surya, L. (2018). Comparação entre modelos digitais de elevação dos sensores SRTM e ALOS PALSAR para análise digital de terreno. *Revista Contexto Geográfico*, 3(6), 47-55. doi.org/10.28998/contegeo.v3i6.6968
- Marion, F. A., Santos, E. B., Hendges, E. R. (2015). Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão-PR. *Revista Geográfica Acadêmica*, 9(2), 50-60.
- McGrane, S. J. (2016). Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 61(13), 2295-2311. doi.org/10.1080/02626667.2015.1128084
- Montaño, R. & Souza, M. P. (2016). Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(3), 489-495. doi.org/10.1590/S1413-41522016118729.
- Nakahori, A. A. G. & Souza, S. F. (2012). Avaliação da qualidade de ortoimagens do sensor PRISM/ALOS-2: estudo de caso para São Gabriel, RS, Brasil. *Gaea - Journal of Geoscience*, 8(1), 6-17. doi.org/10.4013/gaea.2012.81.02
- Ogassawara, J. F. & Gass, S. L. B. (2018). Análise morfométrica dos afluentes principais da bacia hidrográfica do rio Uruguai e sua influência nas inundações na cidade de Itaqui, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira Geomática*, 6(3), 222-240. doi.org/10.3895/rbgeo.v6n3.7615
- Oliveira, J. V., Cohen, J. C. P., Pimentel, M., Tourinho, H. L. Z., Lôbo, M. A., Sodré, G., Abdalaa, A. (2020). Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. *Urban Climate*, 31, e100579. doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100579
- Passow, M. J. (2010). TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission: bringing remote sensing of precipitation into your classroom. *Terra e Didática*, 6(1), 3-8.
- Ponte, J. P. X. (2015). Belém do Pará: cidade e água. *Cadernos Metrópole*, 17(33), 41-60.
- Reis, D. R., Plangg, R., Tundisi, J., Quecedo, D. M. (2019). Physical characterization of a watershed through GIS: a study in Schmidt stream, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 16-29. doi.org/10.1590/1519-6984.01313suppl
- Santos, M. R. S., Vitorino, M. I., Pimentel, M. A. S., Souto, J. I. O. (2017). Investigação da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto. *Caminhos de Geografia*, 18(62), 49-58.
- Silveira, V. S., Robaina, L. E. S., Trentin, R. (2014). Definição das áreas de perigo de inundação do rio Vacacaí no município de São Gabriel, RS. *GeoTextos*, 10(2), 99-118. doi.org/10.9771/1984-5537geo.v10i2.9962
- Soares, P. R. R. (2018). Metropolização, aglomerações urbano-industriais e desenvolvimento regional no sul do Brasil. *Cadernos Metrópole*, 20(41), 15-34. doi.org/10.1590/2236-9996.2018-4101.
- Sukristiyanti, S., Maria, R., Lestiana, H. (2018). Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. *IOP Conf. Series - Earth and Environmental Science*, 118, 1-6.
- Torres, A. T. G. & Vianna, P. C. G. (2008). Hidroterritórios a influência dos recursos hídricos nos territórios do Semi-Árido Nordestino. *Terra Livre*, 2(31), 145-162.

Valeriano, M. M., Kuplich, T. M., Storino, M., Amaral, B. D., Mendes Júnior, J. N., Lima, D. J. (2006). Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. *Computers & Geosciences*, 32(8), 1169-1181.

Zuquette, L.V. & Gandolfi, N. (2004). *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos, 190 p.