



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCORRÊNCIA DE ALAGAMENTOS EM ÁREA INTENSAMENTE URBANIZADA

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Sergipe, Brasil
psrn.geologia@gmail.com

Kisley Santos Oliveira
Universidade Federal de Sergipe – UFS, Sergipe, Brasil
kisley10.oliveira@gmail.com

RESUMO – A intensa urbanização associada ao regime de marés altas e elevados índices pluviométricos favorece a ocorrência de alagamentos no município de Aracaju (SE) no período chuvoso. Este estudo visa realizar a análise espaço-temporal, entre os anos de 2010 e 2020, dos pontos de alagamento e identificar e espacializar as áreas vulneráveis e recorrentes ao alagamento. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, como geração de mapas de declividade e hipsometria e interpolação por Kernel, espacializando a ocorrência dos pontos de alagamento e propiciando a análise com a altitude e declive do relevo. Foi possível constatar que há uma tendência de recorrência dos pontos de alagamentos situados nos bairros 13 de Julho e São José. Esses bairros localizam-se próximo ao estuário do rio Sergipe e expandiram-se em área de manguezal, naturalmente alagável. O bairro Jabotiana, que não apresentava nenhum ponto de alagamento no ano de 2010, apresentou 8 pontos em 2020, em função da sua proximidade com o rio Poxim e da recente urbanização com muitas edificações. Os bairros instalados no entorno das planícies de inundação fluviomarina são suscetíveis a alagamentos. Conclui-se que as áreas mais vulneráveis aos alagamentos estão relacionadas com as maiores intervenções antrópicas, como a impermeabilização do solo, canalização, estreitamento, retificação e soterramento inadequados de rios e córregos.

Palavras-chave: Alagamento, Impermeabilização, Canalização, Geotecnologia.

SPACE-TEMPORAL ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF FLOODING IN INTENSELY URBANIZED AREA

ABSTRACT – The intense urbanization associated with the high tide regime and high rainfall rates favors the occurrence of flooding in the municipality of Aracaju (SE) in the rainy season. This study aims to carry out a spatio-temporal analysis, between the years 2010 and 2020, of the flooding points and to identify and spatialize the vulnerable and recurrent areas of flooding. Remote sensing and geoprocessing techniques, such as generation of slope maps and hypsometry and Kernel interpolation, spatializing the occurrence of flooding points and providing analysis with the altitude and slope of the relief. It was possible to verify that there is a tendency of recurrence of the flooding points located in the 13 de Julho and São José neighborhoods. These neighborhoods are located near the Sergipe river estuary and expanded into a naturally floodable mangrove area. The Jabotiana neighborhood, which did not have any flooding points in 2010, presented 8 points in 2020, due to its proximity to the Poxim River and the recent urbanization with many buildings. Neighborhoods located around the fluvio-marine floodplains are susceptible to flooding. It is concluded that the areas most vulnerable to flooding are related to major human interventions, such as soil sealing, channeling, narrowing, straightening and inadequate burial of rivers and streams.

Keywords: Flooding, Waterproofing, Channeling, Geotechnology.

INTRODUÇÃO

As alterações no ambiente, como a impermeabilização do solo, modificam os processos hidrológicos, proporcionando maior escoamento, diminuição da infiltração e aumento do fluxo das águas (BINDA, 2012). A ocorrência de desastres naturais, resultantes de eventos de precipitação, tem se tornado mais frequentes e intensos devido à falta de políticas públicas, infraestruturas inadequadas das áreas urbanas e gestão ineficiente dos modelos tradicionais de urbanização. Os processos de inundação e alagamentos são os riscos geológicos, juntamente com os movimentos de massa, que mais ocorrem no Brasil. Periodicamente, em consequência de chuvas intensas e concentradas, a população urbana sofre com problemas relacionados ao acúmulo de águas pluviais nas vias urbanas (REIS, 2012), pois ocasionam prejuízos socioeconômicos e ambientais.

Conforme Silva Júnior et al. (2016), os alagamentos são intensificados nas planícies costeiras, cujo sistema de drenagem natural é altamente influenciado pelo regime de marés combinado com períodos de chuvas intensas. As altas marés e as intensas precipitações sobrecarregam os canais de micro e macrodrenagem, que associadas aos solos impermeabilizados pelo processo de urbanização acelerada formam um conjunto de condições favoráveis aos alagamentos. Os aspectos geomorfométricos como grau de declividade e altitude topográfica influenciam diretamente na ocorrência de alagamentos (SANTOS e CARVALHO, 2021).

Os ecossistemas estuarinos e de manguezal são naturalmente propícios à inundação e ao alagamento quando essas áreas são urbanizadas. Esta é a característica geomorfológico-geológica do município de Aracaju, que surgiu e se expandiu entre as fozes dos rios Sergipe e Vaza Barris, localizadas em altitudes similares ao nível do mar (OLIVEIRA et al., 2019). Pequenos cursos d'água foram soterrados ou canalizados, como é o caso dos riachos Caborge, Tramandaí e Olaria, afluentes do rio Sergipe. Além disso, esses cursos d'água foram estreitados e retilinearizados, aumentando assim a vulnerabilidade aos alagamentos da área urbana de Aracaju.

Essas condições de risco ambiental e à saúde da população precisam ser mantidas sob controle, visto que servem como ferramenta de avaliação da qualidade de vida e gestão pública. Nesse contexto, segundo Santos et al. (2017), a integração de dados de ambientes naturais como precipitação e relevo, com a permeabilidade do solo e eficiência da drenagem, é o grande desafio para encontrar as soluções para a urbanização consolidada. Para auxiliar essa análise, as geotecnologias são imprescindíveis na modelagem com maior rapidez, menor custo e precisão.

A partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são gerados dados e informações, permitindo que este proponha soluções e intervenções cada vez mais eficientes, em diferentes escalas de atuação. O uso dessas geotecnologias contribui para definir quais áreas podem ou não serem ocupadas pela população para fins de moradia e comércio, quais áreas precisam ser preservadas in natura e, as já ocupadas, quais estão vulneráveis e qual o grau do risco, como por exemplo ao alagamento.

Após esta breve contextualização, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise espaço-temporal das áreas vulneráveis a ocorrência de alagamento nas regiões intensamente urbanizadas de Aracaju – SE, por geotecnologias, nos anos de 2010 e 2020.

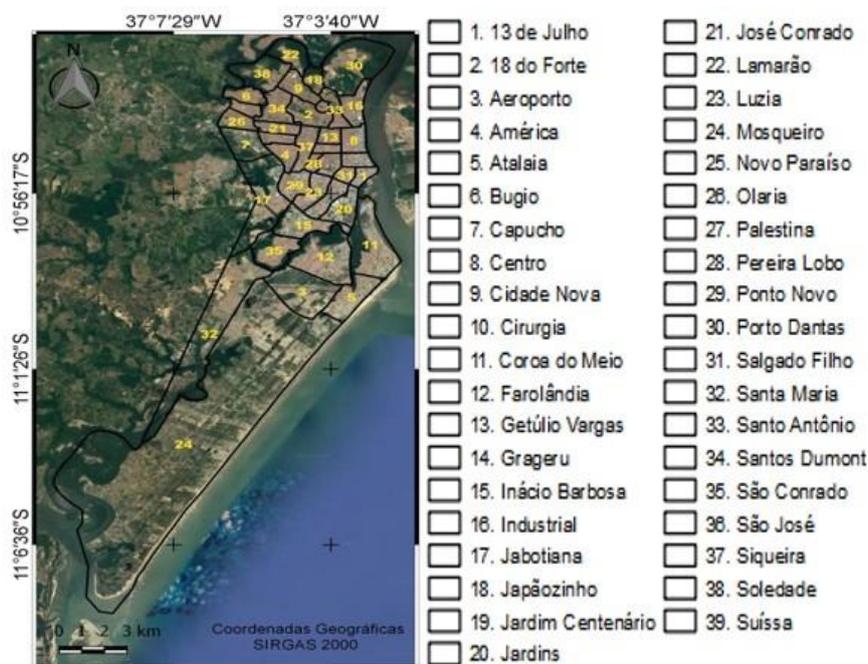
Área de Estudo

O município de Aracaju possui uma área de aproximadamente 182.163 km², cuja população é de 664.908 habitantes, conforme estimativas do IBGE para o ano de 2020. Limita-se em sua porção Norte com o município de Nossa Senhora do Socorro, a Leste com Barra dos Coqueiros e o oceano atlântico, ao Oeste com São Cristóvão, e ao Sul com Itaporanga d'Ajuda. Recebeu o título de “Cidade das Águas” por ser cercada por rios, sendo os principais Sergipe e Vaza Barris, assim como os muitos que cortam a cidade, atualmente canalizados ou soterrados em sua maioria.

A área urbana de Aracaju (Figura 1) se concentra à margem direita do rio Sergipe, com intenso crescimento, nas últimas três décadas, para as regiões Sul e Sudoeste, definida com Zona de Expansão Urbana (ZEU), em direção à margem esquerda do rio Vaza Barris. Além do Centro da Cidade, há vários bairros que centralizam atividades comerciais e demais serviços. Destacam-se os bairros Siqueira Campos, São José, Salgado Filho, Farolândia, Atalaia, Coroa do Meio, Aeroporto, Santos Dumont, Japãozinho, Soledade, Capucho, Jabotiana, São Conrado e Olaria, que atendem as diferentes camadas sociais (ARAÚJO, 2003).

A caracterização de uma área é de suma importância para garantir o bem-estar da população, evitar desastres e detectar áreas expostas aos riscos. Dessa forma, fatores relacionados às particularidades do geológico-geomorfológicas e informações sobre o regime hidrológico, tornam-se etapa inicial nas ações de localização e prevenção de riscos aos alagamentos e inundações (MANTIS e VAZ, 2019).

Figura 1. Mapa do município de Aracaju e concentração de bairros na área urbana



Org. Autores (2022)

De acordo com Araújo et al. (2010), o município de Aracaju situa-se na Zona Intertropical, apresentando clima quente sub úmido, resultante de quatro sistemas meteorológicos: Zona de Convergência Intertropical, os Alísios de Sudeste, as correntes Perturbadas de Leste e a Frente Polar Atlântica. As baixas latitudes e altitudes ocasionam pequenas variações de temperatura, sendo que as médias chegam a 27°C nos meses mais quentes que vão de janeiro a março e nos meses menos quentes, entre julho e agosto, as temperaturas médias alcançam 23°C. O período seco é entre novembro e janeiro e o período mais chuvoso é entre abril e junho.

As unidades geomorfológicas são compostas pelas planícies costeira e flúvio-lagunar dos Depósitos Quaternários e pelos tabuleiros costeiros do Grupo Barreiras, classificadas geologicamente como Coberturas Cenozoicas (SANTOS et al., 1998). As Coberturas Cenozoicas são compostas pelos arenitos terciário-quaternários do Grupo Barreiras e pelos sedimentos argilo-arenosos pleito-holocênicos dos Depósitos Quaternários plúvio-lagunares, pântanos, mangues, aluvionares e litorâneos. Os neossolos quartzarênicos, espodossolos e gleissolos encontram-se associados aos sedimentos inconsolidados e arenitos das planícies e

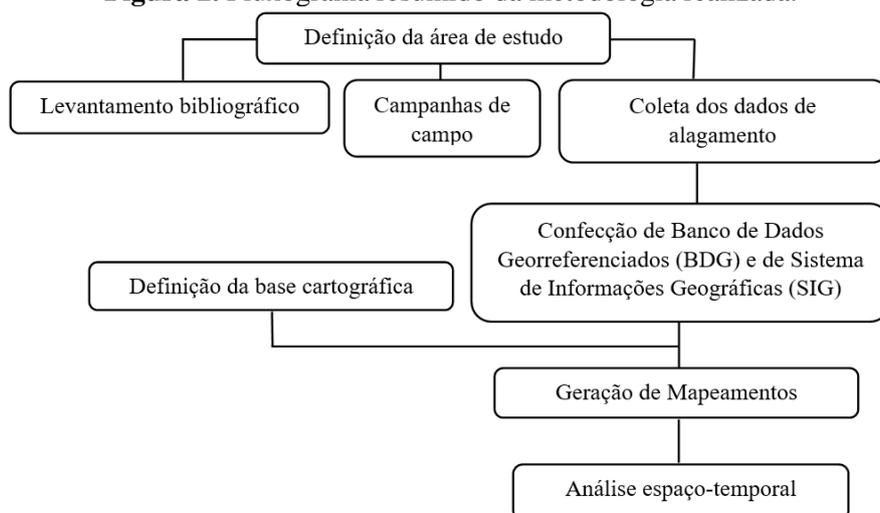
tabuleiros costeiros da região climática da faixa litorânea composta por resquícios de Mata Atlântica (ARAGÃO et al., 2011, EMBRAPA, 2014).

A conversão da vegetação natural em área urbanizada resultou em pequenas e esparsas manchas de manguezais, vegetação de restinga e remanescentes da floresta tropical úmida. Os manguezais, dispersos pelo município, estão sujeitos a diversas formas de degradação, como desmatamento, aterro e acúmulo de lixo e de detritos do esgotamento sanitário lançados nos corpos hídricos, uma vez que apenas parte da cidade está sendo servida pela rede de esgotamento sanitário (FRANÇA, 2014). De acordo com o autor, o sistema de drenagem urbana de Aracaju está baseado na microdrenagem, que consiste na coleta, na condução e no lançamento final dos deflúvios superficiais ou subterrâneos através de pequenas e médias galerias. Os destinos das águas pluviais são os corpos hídricos ou áreas livres públicas ou particulares.

METODOLOGIA

A pesquisa foi baseada em procedimentos que visaram compreender a dinâmica de ocorrência de alagamentos na área de estudo. Para isso, foram consideradas variáveis como: interferência antrópica relacionada ao uso e ocupação do solo, parâmetros geomorfométricos relativos à hipsometria e declividade, características hidrológicas e os sistemas de drenagem. O fluxograma a seguir ilustra um resumo das etapas do trabalho (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma resumido da metodologia realizada.



Org. Autores (2022).

A coleta dos dados de alagamento de 2010 foi realizada através de informações disponíveis no site da Defesa Civil e no relatório da Gestão Integrada das Águas Urbanas de Aracaju (GIAU, 2010). Os dados de 2020 foram extraídos de notícias em sites e jornais televisivos. Também foram realizadas campanhas de campo durante o andamento da pesquisa, para obtenção de mais dados e a inspeção de áreas vulneráveis. As informações sobre as ocorrências de alagamento foram extraídas de notícias veiculadas por meios de comunicação respaldados. Os jornais pesquisados foram: TV Sergipe e portal g1.globo.com; TV Atalaia e portal a8se.com; e a plataforma local jornaldacidade.net. Foram selecionadas as notícias que estavam devidamente datadas do ano de 2020 e informavam o endereço dos locais dos alagamentos para que, posteriormente, pudessem ser manipuladas para confecção de um BDG.

Para a confecção do BDG e manipulação do SIG foram utilizados os seguintes materiais: as

coordenadas geográficas dos pontos de alagamento; os arquivos em formato vetorial disponíveis no Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos de Sergipe desenvolvido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) e disponibilizado através do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRHSE); dados espaciais em formato matricial do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto Topodata (VALERIANO e ROSSETTI, 2011), desenvolvido e disponibilizado no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e o programa computacional de geoprocessamento QGIS da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) de Código Aberto segundo a Licença Pública Geral (GNU) (QGIS Development Core Team, 2020).

Espacialização dos pontos de alagamento

Após o reconhecimento (identificação) dos pontos de alagamento, realizou-se a importação para o QGIS, utilizando o recurso Google Street View. Estes foram identificados pelos cruzamentos entre as ruas ou identificação por imagens, e importados no software para obtenção das coordenadas. Posteriormente, utilizou-se a ferramenta *numerical digitize* para posicionar de forma adequada os pontos, segundo os parâmetros fornecidos, as coordenadas geográficas. Esta ferramenta fornece dados em forma de pontos que podem ser representados cartograficamente.

Estimador de densidades

Os estimadores de densidade são comumente usados para analisar as propriedades de uma série de dados em determinada área. Esta ferramenta possibilita visualizar o padrão de densidade do evento considerado, através de estimativa da intensidade de ocorrência pontual, distribuído por toda área de interesse. Em alguns casos pode apontar os caminhos para a investigação, visto que a análise espacial proporciona uma percepção da distribuição do fenômeno analisado, pois mensura propriedades como frequência, intensidade e proporção (MATOS, 2015). O QGIS utiliza o método estatístico da função Kernel.

Para estimar a densidade dos pontos de alagamento utilizou-se a ferramenta chamada Mapa de Calor. Este utiliza a camada de pontos para gerar informação contínua a respeito da intensidade da ocorrência do evento considerado no estudo, e aplica-se um gradiente de cor de acordo com a diferença de concentração destes. Geralmente, identificam-se áreas de maior densidade com cores consideradas quentes (*hot bed*) ou menor densidade com cores frias (*cold bed*). O raio de influência aplicado foi de 300m, pois facilitava visualização das informações sem ultrapassar as áreas atingidas pelo alagamento.

Mapa Hipsométrico

O mapa hipsométrico é uma técnica de representação da elevação do terreno por meio do uso de cores, geralmente uma graduação de tonalidades. Geralmente, variam de cores quentes para representar grandes altitudes e cores frias para as baixas. As cotas estão associadas a alguns aspectos do relevo da área, como altitude de determinadas regiões em relação ao nível do mar. (FRANCISCHETT e BIZ, 2020). Sempre existiu a dificuldade em definir e determinar o aspecto tridimensional das áreas geográficas, portanto, em alguns casos são acrescentadas técnicas de texturização nos produtos cartográficos para que contribuam com a interpretação das informações.

Para geração do mapa hipsométrico foram utilizados arquivos do tipo matricial (*raster*) em Modelo de Elevação (MDE) do Projeto Topodata (VALERIANO e ROSSETTI, 2011), disponibilizado no site do INPE. São dados altimétricos na forma de grades retangulares e imagens, fornecidos por quadrantes, que configuram o relevo de cada região do Brasil. Depois de adquiridas, as imagens precisaram ser mosaicadas e recortadas de acordo com os limites da área de estudo. O intervalo das classes altimétricas precisou ser adaptado para facilitar a visualização das informações, já que a área de estudo não apresenta grandes variações de altitude em suas superfícies.

Para contribuir com a visualização do mapa hipsométrico, aplicou-se a técnica conhecida como sombreamento no mesmo arquivo em MDE. Essa técnica aplica uma textura ao mapa, através de uma diferencial de iluminação, que além da diferença de cores, apresenta um gradiente de relevo no qual as áreas mais escuras estão próximas do nível do mar e áreas clarificadas representam elevadas altitudes.

Mapa de Declividade

O mapa de declividade, também conhecido como mapa clinográfico, indica o grau de inclinação do terreno em grau ou porcentagem. Quanto maior for o ângulo formado da diferença de altitude entre dois pontos, maior será a declividade. A inclinação de um terreno possui relação direta com o escoamento superficial. Segundo Reis (2012), as regiões onde a declividade é baixa são mais susceptíveis aos alagamentos, e em oposição, a alta declividade aumenta a velocidade de escoamento das águas, o que favorece a ocorrência de enxurradas.

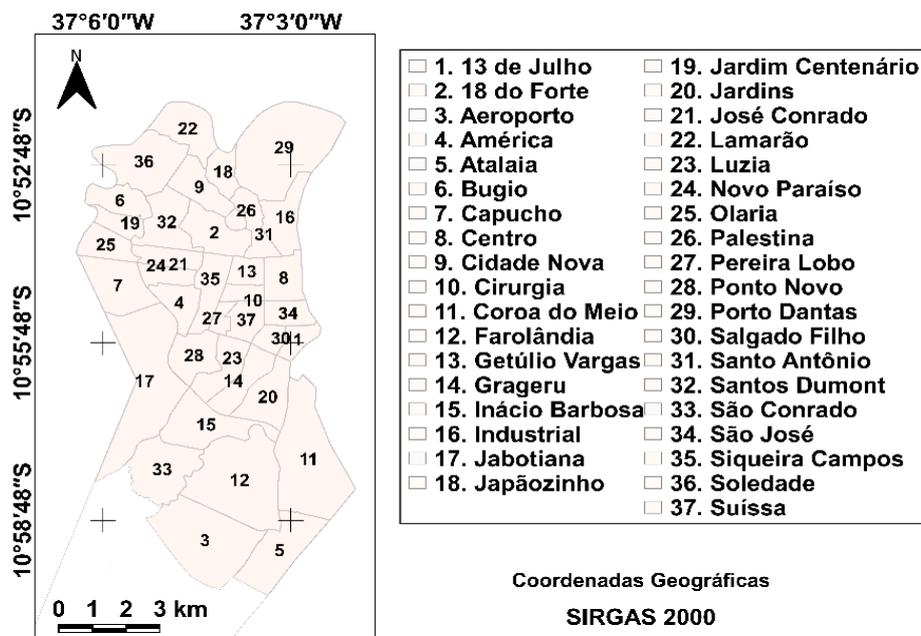
O mapa de declividade foi gerado a partir de outro arquivo MDE do projeto Topodata com as seguintes classes: 0 a 3%; 3 a 8%; 8 a 20%, 20 a 30% e maior que 30%. Porém, neste caso, o arquivo selecionado era denominado declividade e sua aquisição e procedimentos metodológicos foi similar ao MDE de altitude. No software QGIS foi necessário utilizar a ferramenta de análise de declividade e, posteriormente, configurar o intervalo de classes para que facilitasse a compreensão das informações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Bairros da área de estudo

Para maior compreensão e localização dos bairros alagados, a figura 3 identifica cartograficamente os bairros da área de estudo.

Figura 3. Limite dos bairros na área de estudo.



Org. Autores (2022).

Identificação dos Pontos de Alagamento

Os pontos de alagamento na área de estudo foram identificados por meio de suas coordenadas geográficas e apresentados nas tabelas 1 e 2 com os dados de 2010 e 2020, respectivamente.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de alagamento na área de estudo em 2010

Pto.	Long.	Lat.	Pto.	Long.	Lat.	Pto.	Long.	Lat.
1	-37.072	-10.883	14	-37.063	-10.935	27	-37.066	-10.919
2	-37.052	-10.896	15	-37.066	-10.942	28	-37.065	-10.923
3	-37.051	-10.905	16	-37.061	-10.943	29	-37.058	-10.923
4	-37.073	-10.909	17	-37.051	-10.940	30	-37.052	-10.920
5	-37.074	-10.914	18	-37.041	-10.963	31	-37.049	-10.923
6	-37.073	-10.920	19	-37.054	-10.970	32	-37.051	-10.929
7	-37.057	-10.917	20	-37.065	-10.975	33	-37.061	-10.932
8	-37.068	-10.921	21	-37.060	-10.873	34	-37.063	-10.938
9	-37.043	-10.918	22	-37.053	-10.898	35	-37.073	-10.947
10	-37.055	-10.922	23	-37.076	-10.904	36	-37.054	-10.939
11	-37.052	-10.923	24	-37.071	-10.910	37	-37.050	-10.944
12	-37.060	-10.928	25	-37.076	-10.919	38	-37.053	-10.974
13	-37.048	-10.927	26	-37.057	-10.914	39	-37.059	-10.979
						40	-37.082	-10.970

Fonte: Adaptado de GIAU (2010)

Tabela 2. Coordenadas geográficas dos pontos de alagamento na área de estudo em 2020

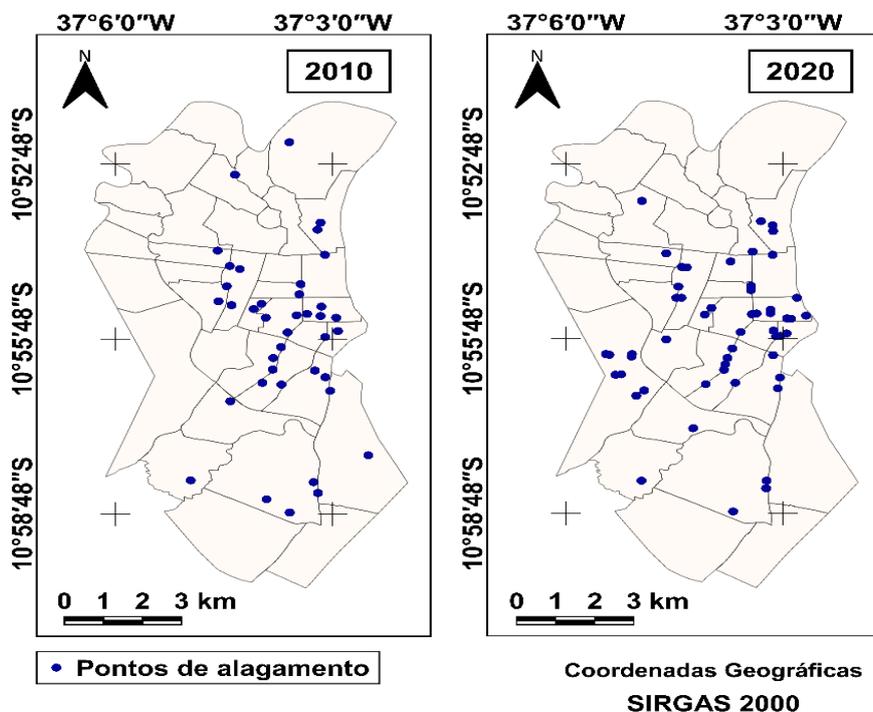
Pto.	Lat.	Long.	Pto.	Lat.	Lon g.	Pto.	Lat.	Long.
1	-10.930	-37.076	19	-10.922	-37.056	37	-10.937	-37.063
2	-10.955	-37.070	20	-10.914	-37.057	38	-10.938	-37.063
3	-10.916	-37.057	21	-10.928	-37.059	39	-10.935	-37.062
4	-10.918	-37.046	22	-10.915	-37.074	40	-10.929	-37.050
5	-10.921	-37.052	23	-10.909	-37.073	41	-10.928	-37.049
6	-10.922	-37.052	24	-10.918	-37.074	42	-10.929	-37.051
7	-10.970	-37.082	25	-10.918	-37.073	43	-10.927	-37.052
8	-10.906	-37.052	26	-10.905	-37.076	44	-10.922	-37.052
9	-10.896	-37.055	27	-10.909	-37.072	45	-10.934	-37.090
10	-10.897	-37.052	28	-10.970	-37.053	46	-10.934	-37.090
11	-10.899	-37.052	29	-10.972	-37.053	47	-10.935	-37.084
12	-10.923	-37.068	30	-10.943	-37.067	48	-10.934	-37.084
13	-10.921	-37.066	31	-10.932	-37.061	49	-10.940	-37.088
14	-10.941	-37.050	32	-10.923	-37.057	50	-10.940	-37.087
15	-10.944	-37.051	33	-10.923	-37.044	51	-10.946	-37.083
16	-10.934	-37.052	34	-10.924	-37.048	52	-10.944	-37.082
17	-10.942	-37.061	35	-10.924	-37.049	53	-10.905	-37.057
18	-10.907	-37.062	36	-10.922	-37.052	54	-10.890	-37.082
						55	-10.979	-37.061

Org. Autores (2022)

Como ilustra a Figura 4, nem todos os bairros foram afetados com eventos críticos de alagamento. Foram identificados e espacializados 40 pontos de alagamento no ano de 2010 nos bairros: 13 de

Julho, América, Centro, Cirurgia, Coroa do Meio, Farolândia, Grageru, Inácio Barbosa, Industrial, Japãozinho, Jardins, José Conrado, Luzia, Pereira Lobo, Porto Dantas, Salgado Filho, São Conrado, São José, Siqueira Campos e Suíssa. Um total de 20 dos 37 bairros estudados.

Figura 4. Espacialização dos pontos de alagamento.



Org. Autores (2022).

No ano de 2020, identificou-se 55 pontos de alagamento que atingiram os bairros 13 de Julho, América, Centro, Cirurgia, Farolândia, Getúlio Vargas, Grageru, Inácio Barbosa, Industrial, Jardins, Jabotiana, José Conrado, Luzia, Pereira Lobo, Ponto Novo, Santo Antônio, Santos Dumont, São Conrado, São José, Siqueira Campos e Suíssa, totalizando 22 bairros. Detectou-se, portanto, o aumento de 15 pontos de alagamento em relação aos anos analisados. O bairro mais acometido atualmente é o São José, com 9 pontos. É importante salientar que os resultados não necessariamente apresentam uma série histórica, mas sim um recorte específico dos anos analisados na pesquisa. Os bairros Coroa do Meio, Japãozinho e Porto Dantas apresentaram pontos de alagamento apenas no ano de 2010. Os bairros: Getúlio Vargas, Jabotiana, Ponto Novo, Santo Antônio e Santos Dumont apresentaram pontos de alagamento apenas no ano de 2020. A constante expansão populacional, a dinâmica de reestruturação do ambiente natural, as modificações no sistema de drenagem realizada pelas obras hidráulicas contribuíram para o acontecimento desses novos dados e manutenção regular das alterações.

A análise da distribuição dos pontos revela a importância de duas variáveis: o surgimento de novos pontos e a recorrência de outros. Dos 22 bairros acometidos em 2020, 17 se repetiram em relação a 2010. Essa recorrência evidencia o caráter natural de susceptibilidade aos alagamentos na cidade de Aracaju. Quanto ao aspecto da vulnerabilidade, que está associado à interferência antrópica, 5 bairros apresentaram pontos de alagamento apenas em 2020. Pode-se destacar o bairro Jabotiana, que não apresentava nenhum ponto e em 2020 foram identificados 8 pontos, tornando-se o segundo bairro mais acometido.

O Jabotiana é o maior bairro da área de estudo e a maior parte da sua ocupação se concentra na parte central do território. As instalações são do tipo residencial, serviços variados e comércio.

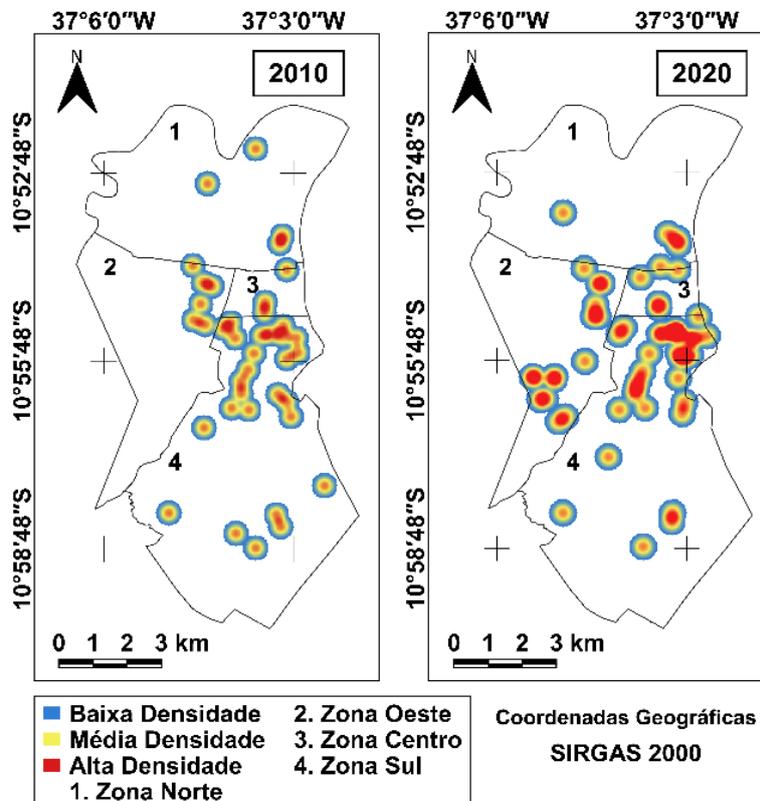
Casas térreas, escolas, áreas de ocupação espontânea e condomínios verticais, caracterizam a intervenção antrópica de edificação. É uma área marcada pela presença de grandes corpos hídricos como rio Poxim e afluentes, áreas inundáveis e manguezais. Parte dessas áreas não são ocupadas, pois coincidem com Áreas de Interesse Ambiental (AIA), algumas destas protegidas pela legislação. A integração dessas peculiaridades confere ao bairro alto grau de vulnerabilidade.

Notoriamente, os episódios de alagamento são comuns na cidade de Aracaju. Os fatores preponderantes para essa recorrência são, principalmente: (i) características naturais da região (estuário e manguezais); (ii) aumento das superfícies impermeabilizadas devido à crescente urbanização; (iii) precipitações de alta intensidade; e (iv) ineficiência das redes de drenagem. Segundo Binda (2012), essas condições aumentam o tempo de concentração (intervalo temporal necessário para água percorrer toda a bacia até desaguar), consequentemente elevam o volume de água nos canais pluviais que acabam sobrecarregando e extravasando.

Densidade dos Pontos de Alagamento

A Figura 5 apresenta padrões de intensidade de ocorrência semelhantes devido a repetibilidade dos pontos. Destaca-se o bairro São José pela recorrência intensa e concentrada de pontos de alagamento nos dois anos analisados, representados pela cor vermelha (*hot bed*). A região composta pelos bairros 13 de Julho, São José, Salgado Filho e Suíssa apresenta a maior intensidade de ocorrência. Essa elevada concentração de pontos está associada, principalmente, às características de formação natural da área, que compreende o ecossistema de manguezal, regiões estuarinas do rio Sergipe e a impermeabilização do solo da área, causada pela elevada expansão urbana e do comércio da região.

Figura 5. Densidade dos pontos de alagamento pelo interpolador Kernel.



Org. Autores (2022).

As regiões de mangue são originalmente alagáveis, pois realizam os balanços hídricos entre as águas (rios e oceano) e terra firme. A proximidade com o rio Sergipe também facilita na ocorrência das inundações, isso porque, com a ocorrência de fortes chuvas e consequente aumento do nível de água, pode ocorrer extravasamento para os bairros mais próximos. A influência do regime de marés também é fator importante nesta análise, pois maximiza os efeitos associados ao aumento do volume de água quando há maré baixa, bem como se reduz seus efeitos em momentos de maré baixa. Ao ocorrer o bloqueio do escoamento das águas fluviomarinhas atingem os canais.

Um aspecto que pode tornar-se importante influência no escoamento das águas pelos canais é o acúmulo de resíduos sólidos. Esta variável está relacionada ao crescimento populacional e áreas de comércio. Os bairros nobres contêm um número alto de moradores, e conseqüentemente um maior consumo de materiais que geram resíduos. Um plano de coleta deficitário faz com que sejam descartados muitos resíduos nas vias públicas, que são posteriormente carregados, em ocasiões de precipitação, aos canais pluviais e cursos dos rios.

O aumento de comércio e serviços em geral também está relacionado a maior demanda da região mais povoada. Essas atividades geram muitos resíduos que também acabam se acumulando, e geram interceptação/estrangulamento dos canais naturais e artificiais. Sendo assim, os canais não suportam o acréscimo do volume de água e de resíduos e transbordam, contribuindo para que ocorram situações de alagamento e inundações.

Associado a essas circunstâncias, leva-se em consideração o potencial poluidor de toda essa carga de resíduos acumulada. Serviços como de saúde e alimentícios geram muita carga orgânica em seus resíduos, que quando descartados de forma equivocada, são carregados para os corpos hídricos e acabam entupindo os sistemas de drenagem urbana. Esse cenário é altamente poluidor, tanto das águas superficiais quanto subterrâneas, degradando a qualidade e a disponibilidade de água disponível. Em eventos de grande precipitação, o nível da água aumenta e se mistura com o chorume (líquido resultante da composição do lixo). Este cenário de degradação já é identificado na região da Praia Formosa (13 de Julho), onde a praia encontra-se em condições impróprias para banho devido ao alto índice de lançamento de efluentes in natura (Figura 6).

Figura 6. Espuma formada pela poluição no canal do bairro 13 de Julho.



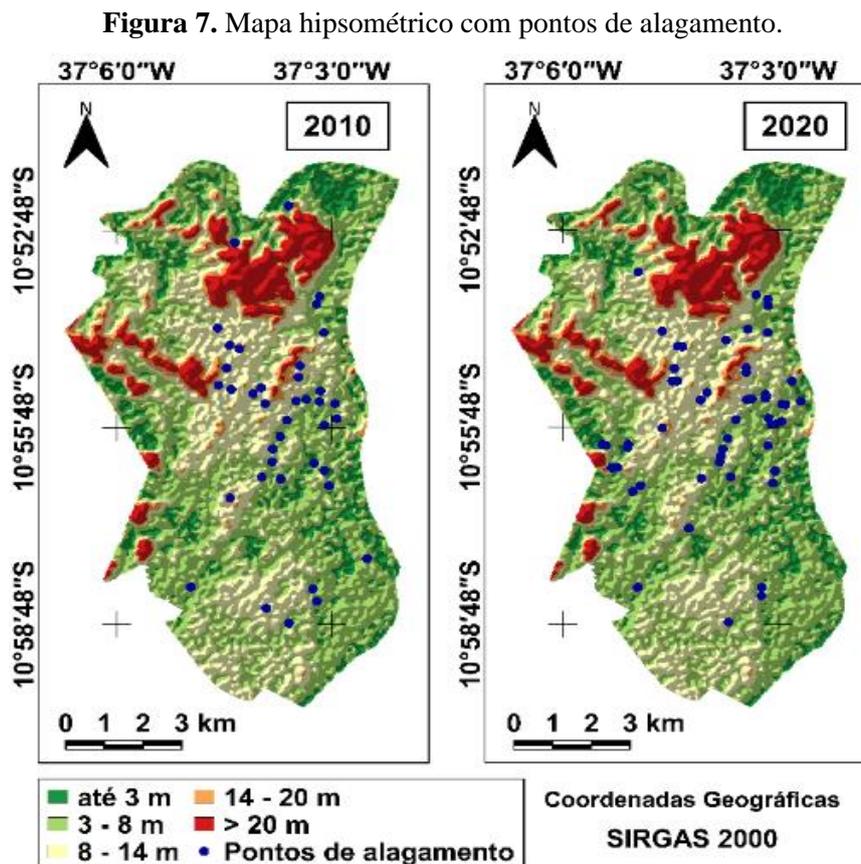
Org. Autores (2022)

A impermeabilização da superfície, causada pelo uso e ocupação indevida do solo, intensifica o processo de inundação, tornando os bairros vulneráveis. A elevada densidade de edificação e pavimentação, motivada pelo intenso crescimento da população e do comércio, tornou essa região nobre da capital sergipana uma área de risco. Concomitantemente, a gestão ineficiente dos resíduos sólidos urbanos, ocasiona interceptação/estrangulamento dos canais fluviais naturais e artificiais.

Segundo Zamuner (2002), muitos impactos da urbanização são decorrentes da implantação da pavimentação de ruas e calçadas que sobrecarregam a drenagem superficial pela adição do fluxo das águas pluviais, causando impactos ainda maiores nas macrodrenagens. O autor descreve que é preciso haver orientação, no sentido de controlar a urbanização indisciplinada das cabeceiras de drenagem e nas áreas de macrodrenagens, pois após os eventos chuvosos o excedente da precipitação que não sofreu o processo de infiltração, vai escoar pelas ruas, dando início as ocorrências de inundações.

Influência da Hipsometria

A cidade de Aracaju não apresenta cotas muito altas, por isso os intervalos de classe do mapa hipsométrico precisaram ser adaptados às condições da área de estudo para que facilitassem a compreensão das informações. Este foi classificado em 5 intervalos que variam desde o nível do mar até áreas acima de 20m, pois não existem grandes variações de altitude (Figura 7).



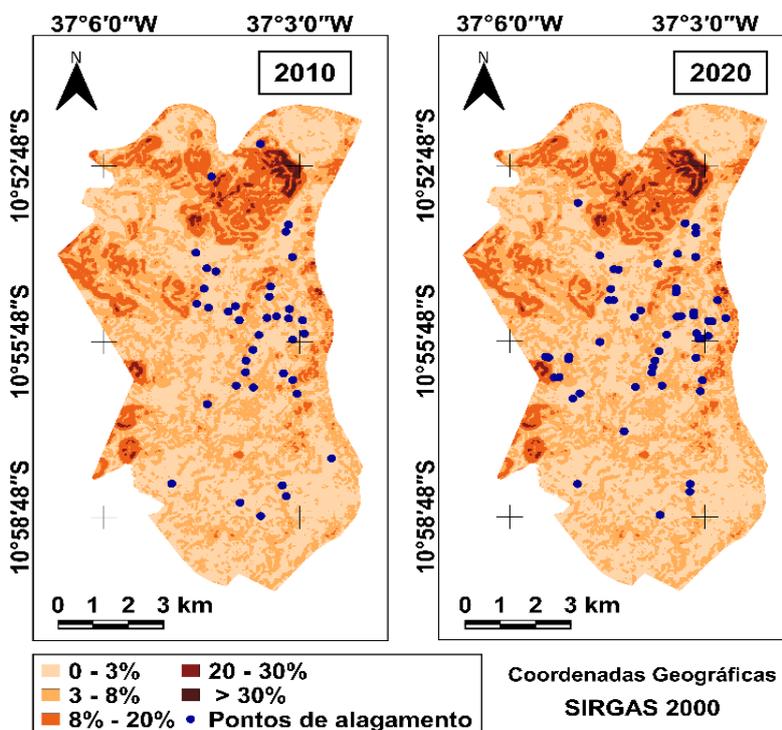
Org. Autores (2022).

Pela análise da figura pode-se afirmar que a maioria dos pontos de alagamento se localiza em áreas de baixas altitudes. Regiões de cotas de até 8m apresentam a grande maioria os pontos. Pela comparação entre os anos, considera-se fator relevante para ocorrência dos alagamentos, pois a dinâmica das áreas se assemelha. As águas tendem a escorrer de regiões mais altas para as de menor altitude, aumentando o volume recebido e reduzindo o tempo de concentração das águas na bacia. Áreas com altitude acima dos 20m não apresentaram nenhum ponto de alagamento nos dois anos, o que ajuda a compreender a influência do escoamento superficial na ocorrência de eventos de inundação e alagamento. Esse resultado corrobora a literatura científica de que as regiões mais altas tendem a direcionar o escoamento para as regiões mais próximas ao nível do mar. Como o escoamento nas redes de drenagem da área de estudo se dá exclusivamente por gravidade, as contribuições das precipitações de toda área de estudo tendem a concentrar-se em regiões mais baixas. Associado a ineficiência do sistema de drenagem, têm-se os alagamentos.

Influência da Declividade

A cidade de Aracaju é reconhecidamente uma cidade na qual predomina o relevo plano, sendo assim, o intervalo das classes foi adaptado para facilitar a compreensão das informações. Pela figura é possível verificar que a grande maioria dos pontos de alagamento está localizada em regiões de baixa declividade (até 8%), composta por relevos considerados Plano e Suave Ondulado. Essa condição acarreta um baixo escoamento superficial, fazendo com que as águas tendem a se acumular nessas regiões menos inclinadas, favorecendo ocorrência dos alagamentos. Nota-se uma pequena parte do mapa representada por inclinação acima de 30%, e nenhum ponto de alagamento na região (Figura 8), constatando a inclinação como um agente facilitador do escoamento superficial.

Figura 8. Mapa de declividade com pontos de alagamento.



Org. Autores (2022).

Pode-se comprovar que o padrão dos pontos é semelhante nos anos de 2010 e 2020, fazendo-se variável importante e altamente influenciadora na recorrência dos cenários de alagamento em eventos críticos de precipitação.

Áreas construídas *versus* áreas não construídas

Os pontos de alagamentos nas áreas urbanas densamente ocupadas ocorrem principalmente nas planícies de inundação dos rios que atravessam a cidade e nos aterros de áreas alagadiças e de mangue. Esses fatores, quando associados ao ordenamento urbano inadequado, impõem a necessidade de convivência precária da população das áreas vulneráveis expostas aos maiores riscos, nos períodos de precipitação mais intensa que ocorrem entre o outono/inverno (SANTOS et al., 2011).

As áreas não construídas ou “vazios urbanos” concentram-se, principalmente, nas regiões periurbanas que estão sendo urbanizadas, no entanto, também estão presentes nas áreas centrais (intraurbana). Se por um lado, o crescimento urbano é uma necessidade em decorrência do crescimento populacional, por outro lado, geram problemas a mais para o município. Destaca-se a implantação de infraestrutura capaz de atender essa expansão, como a execução de logística de transporte público e de coleta de resíduos sólidos urbanos (RSUs).

A estrutura de escoamento criada para atender as necessidades urbanísticas das primeiras ocupações de Aracaju já não atende mais a demanda atual. Merecem destaques os canais antropizados e o aterramento das planícies de marés para instalação da infraestrutura urbana, que dificultam o escoamento nos bairros 13 de Julho e do São José. Nessa região ocorre o bloqueio do escoamento das águas fluviomarinhas, ocasionando os constantes alagamentos nesses bairros. Quando ocorrem as marés altas, as águas oceânicas e do rio Sergipe atingem os canais retificados e estreitos desses bairros (Figura 9).

Figura 9. Canal do bairro São José com vista para o estuário do rio Sergipe.



Org. Autores (2022).

Dessa forma, é importante entender o conceito e a dinâmica de um estuário, que segundo Dionne (1963), é uma reentrância do mar, que atinge o vale de um rio até o limite de influência

da maré, subdividido em três setores: (i) estuário inferior ou marinho, com comunicação livre com o oceano aberto; (ii) estuário médio ou zona de mistura, sujeito a intensa mistura da água do mar com a água doce da drenagem continental; e (iii) estuário superior ou zona de maré do rio caracterizado por água doce mas sujeito à influência diária da maré

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas utilizadas na metodologia mostraram-se eficientes na identificação e espacialização dos pontos de alagamento na área intensamente urbanizada de Aracaju. Especialmente identificou-se a localização dos bairros mais vulneráveis aos alagamentos. Foi possível notar um padrão de repetibilidade dos pontos localizados mais próximos a cursos hídricos canalizados, retificados e estreitados; no entorno das áreas de manguezal e nas áreas impermeabilizadas pela urbanização intensa.

Na escala temporal, avaliou-se a tendência de recorrência dos pontos que se mantiveram entre 2010 e 2020. Os mais vulneráveis e com alagamentos repetitivos são os bairros nobres da cidade, como: São José, Suíssa e 13 de Julho. A causa é a intensa urbanização desses bairros, que além de moradias de alto padrão verticalizadas e horizontalizadas, é um dos principais núcleos comerciais e de serviços. A proximidade com o estuário do rio Sergipe e os canais retificados e estreitos favorecem aos alagamentos.

Destaca-se o bairro Jabotiana, que em 2010 não havia registro de alagamento e anos de 2020 foi o bairro que mais se destacou pela quantidade de pontos de alagamentos. Nesse período, o processo de urbanização e verticalização com a construção de diversas moradias e condomínios, ocorreu a impermeabilização do solo, alterando a dinâmica hidrológica do bairro. A proximidade com o rio Poxim e a ocupação de sua planície de inundação (várzea) além de causar alagamentos também ocasionou inundações.

Recomendasse políticas públicas para minimizar os alagamentos nos bairros cuja urbanização se encontra consolidada e novos modelos de urbanização para evitar que os bairros que estão se urbanizando repitam estes cenários. Posto isso, esta pesquisa funcionou como ferramenta de identificação e monitoramento das áreas mais vulneráveis aos alagamentos, servindo como instrumento de possível predição de novos cenários e da repetibilidade dos frequentes. Além disso, a continuidade dessa pesquisa está sendo realizada enfocando as medidas estruturais e não estruturais para mitigar os danos causados pelos alagamentos e a associação dos dias de alagamento com dados pluviométricos e de maré, os quais são armazenados, processados e atualizados em um Banco de Dados Georreferenciados.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, H. M. Impactos ambientais urbanos decorrentes da apropriação do relevo em Aracaju. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9. Recife, 2003. Anais... Recife: ABEQUA, 2003, p. 1 - 4.
- ARAUJO, H. M.; VILAR, J. W. C. WANDERLEY, L. L.; SOUZA, R. M. (Org). O Ambiente Urbano Visões Geográficas de Aracaju. São Cristóvão: Editora da UFS, 2010.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.7, p. 731 – 740, 2011.
- BINDA, A. L.; BUFFON, E. A. M.; FRITZEN, M. Análise espaço-temporal dos casos de inundações e alagamentos registrados na cidade de Chapecó-SC. RA'E GA, v. 26, p. 35 - 50, 2012.
- DIONNE, J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence Estuary. Geomorphology, v. 7, n. 1, p. 36 – 44, 1963.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Base de dados para o Estado de Sergipe: referenciais de solos para o desenvolvimento. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.
- FRANÇA, V. L. A. Relatório final do diagnóstico da cidade de Aracaju. Aracaju: PMA, 2014.
- FRANCISCHETT, M. N.; BIZ, A. C. O mapa hipsométrico no estudo dos continentes. *Revista Signos Geográficos*, v. 2, p. 1 - 25, 2020.
- GIAU. Gestão Integrada de Águas Urbanas em Aracaju - SE. Relatório do Diagnóstico Qualitativo. Aracaju: Grupo Técnico de GIAU, 2010.
- MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá-SP utilizando método de análise hierárquica. *Leopoldianum*, v. 45, n. 126, p. 69 - 85, 2019.
- MATOS, N. M.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T. Análise do padrão de distribuição de queimadas no Bioma Pantanal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. João Pessoa, 2015. Anais... João Pessoa – INPE, 2015, p. 5959-5966.
- OLIVEIRA, K. S.; SILVA, M. L. B.; NASCIMENTO, P. S. R. Mapeamento temático de áreas vulneráveis a riscos de inundações na cidade de Aracaju - SE. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 12. Aracaju, 2019. Anais... Aracaju: ABRHidro, 2019, p 1 – 4.
- QGIS Development Core Team. QGIS Geographic Information System. A Free and Open Source Geographic Information System 2020. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2021.
- REIS, P. E.; PARIZZI, M. G.; MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. M. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. *Geociências*, v. 31, n. 1, p. 31 - 46, 2012.
- SANTOS, J. S.; CARVALHO, S. M. Ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa, PR, Brasil. *Terr@ Plural*, v. 15, p. 1-17, 2021.
- SANTOS, R. A.; MARTINS, A. A. M.; NEVES, J. P.; LEAL, R. A. Geologia e recursos minerais do estado de Sergipe. Brasília: CPRM/CODISE, 1998.
- SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 943 - 952, 2017.
- SANTOS, A.; SANTOS, W. A.; ARAÚJO, J. A. N.; NASCIMENTO NETO, J. A. Riscos geomorfológicos no bairro Santa Maria – Aracaju/SE. *Revista Geográfica da América Central*. Número Especial, p. 1 – 8, 2011.
- SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; ALCOFORADO, R. M. G. Avaliação do sistema de microdrenagem visando à sustentabilidade de área urbana com problemas de alagamentos e influência das marés. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 4, n. 24, p. 1 - 17, 2016.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*, v. 32, p. 300-309, 2011.
- ZAMUNER, L. D.; NÓBREGA, M. T.; MARTONI, A. M. A urbanização e o desencadeamento de processos erosivos em área de preservação ambiental na cidade de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, v. 24, n. 6, p. 1793 - 1800, 2002.