ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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

Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá

Camila Gardenea de Almeida Bandim¹; Josicléda Domiciano Galvêncio².

¹ Graduanda de Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco campus Recife. AV. Prof. Moraes Rego, 1235- Cidade Universitária- CEP 50670-901- Recife PE – Brasil. E-mail: Camila.bandim@ufpe.br. ² Professora Dra. vinculada ao Departamento de Ciências Geográficas - DCG – UFPE e Bolsista Produtividade FACEPE. Rua Benfica, 150, Madalena - CEP 50720-001 Recife - PE E-mail: josicleda.galvencio@ufpe.br.

Artigo recebido em 26/01/2021 e aceito em 25/03/2021

RESUMO

O objetivo deste estudo consiste em avaliar as áreas inundáveis em Recife, com especial atenção à avenida Caxangá. Iniciando uma análise sobre a drenagem convencional utilizando a tecnologia LIDAR (Light Detection And Ranging). Os dados empregados neste trabalho foram captados pelo sistema LIDAR e possuem 50 cm de resolução, sendo um total de 12 quadrículas xyz para a constituição do mosaico Modelo Digital de Elevação (MDE) da avenida Caxangá, com destaque para as quadrículas 81_50-05 e 81_60-05, partindo dessas foram geradas as direções e acúmulos de fluxo. Os resultados obtidos enfatizam a alta resolução através da nítida visualização de elementos naturais e artificiais, e ainda o nivelamento do terreno. Em seguida, observa-se o acúmulo de fluxo que exibe as diferentes direções e acúmulos do escoamento superficial, ainda se percebe a influência na drenagem urbana das construções antrópicas e da vegetação em locais pontuais da avenida Caxangá. Em conclusão os dados do sistema LIDAR responderam positivamente, tanto na captação na modelagem do terreno e topografia artificial, como também para as gerações de direções e acúmulo de fluxos apresentando maiores valores para áreas depressivas naturais e antropizadas. Sendo destaque neste estudo as áreas antropizadas por provocarem problemas de desastres naturais. Conclui-se que as áreas antropizadas exercem um importante papel na drenagem urbana.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Sensoriamento remoto. Urbanização. Inundação urbana. Drenagem.

Mapping water storage areas in depression, using LIDAR data: Caxangá Avenida case study

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the floodable areas in Recife, with special attention to Avenida Caxangá. Starting an analysis on conventional drainage using LIDAR (Light Detection And Ranging) technology. The data used in this work were captured by the LIDAR system and have 50 cm of resolution, with a total of 12 xyz squares for the constitution of the Digital Elevation Model (MDE) mosaic on Avenida Caxangá, with emphasis on the squares 81_50-05 and 81_60-05, from these directions and flow accumulations were generated. The results obtained emphasize the high resolution through the clear visualization of natural and artificial elements, as well as the leveling of the terrain. Then, there is the accumulation of flow that shows the different directions and accumulations of runoff, the influence on the urban drainage of anthropic buildings and vegetation in specific places on Avenida Caxangá is still perceived. In conclusion, the data from the LIDAR system responded positively, both in capturing terrain modeling and artificial topography, as well as for generations of directions and accumulation of flows, presenting higher values for natural and anthropized depressive areas. Being highlighted in this study the areas anthropized because they cause problems of natural disasters. It is concluded that anthropized areas play an important role in urban drainage.

Keywords: Geoprocessing. Remote sensing. Urbanization. Urban flood. drainage.

Introdução

O aumento considerável de eventos relacionados a enchentes e alagamentos nos centros urbanos é um fator importante e tem chamado a atenção dos pesquisadores em diferentes partes do

mundo. O crescimento antrópico em áreas inundáveis ocasionado pela expansão populacional (Tucci, 1997; Brown et al. 2007; Mason et al., 2007), possui uma contribuição relevante nesses

eventos, desencadeando aspectos contribuintes para o risco de ocorrência futuras de enchentes em cidades em grandes cidades e, como: (1) diminuição na aptidão de infiltração de água no solo, isso devido ao contínuo desenvolvimento nas bacias hidrográficas (Hsu et al., 2000); (2) a possibilidade de ampliação na intensidade da chuva, sendo consequência das mudanças climáticas; (3) elevação do nível médio do mar que ameaça o desenvolvimento costeiro; (4) projeção de infraestrutura de inundações com um mal planejamento; (5) interferência da topografia que influencia o percurso do fluxo natural das águas superficiais (Gallegos et al., 2009). O resultado disso é o aumento dos esforços para a melhoria da modelagem hídrica em áreas urbanas, assim torna-se prioridade em pesquisas no mundo (Gallegos et al., 2009; Tsubaki e Fujita, 2010; Feltrell et al., 2011; sampson et al., 2012).

No Brasil o crescimento populacional acelerado se deu a partir da segunda metade do século XX, proporcionando uma apropriação desordenada do uso e ocupação do solo que necessitam de uma maior atenção para que haja um planejamento urbano disciplinado. Com isso diversas cidades brasileiras se expandiram rapidamente o que contribuiu para situações de ausência de planejamento para acompanhar os processos de expansão urbana e trouxe consequências extremas de degradação para o meio ambiente que refletem no dia a dia urbano (Oliveira, 1988).

A metrópole pernambucana Recife é uma referência interessante em relação ao ágil dinamismo na expansão populacional e os diversos transtornos acometidos devido a isso. Seu forte desenvolvimento antrópico se deu sobre uma planície flúviomarinha que recebe influências marítimas e fluviais em sua drenagem natural, além disso é circundada por morros adjacentes (ROCHA, 2013) proporcionando um ambiente suscetível a confluência de águas. De acordo com o IBGE (2010), a capital de Pernambuco em conjunto com demais 13 municípios que formam a RMR (Região metropolitana do Recife) apresenta a maior população urbana da região Nordeste e a quinta maior dentre as capitais brasileiras. Períodos chuvosos destacam ainda mais os problemas relacionados a enchentes e alagamentos no ambiente urbano. Segundo a Emlurb (2013), Recife apresenta 159 pontos alagados críticos, considerando 29 vias de tráfego com complicações em diversos pontos de sua extensão, dentre essas vias destaca-se a Avenida Caxangá que manifesta em seu percurso transtornos diários associados a

dinâmica hídrica e ao processo de ocupação antrópica, sendo evidentemente noticiado pelas mídias em situações de eventos pluviais, o que torna essa localidade merecedora de maior atenção.

As constantes buscas para o aperfeiçoamento do entendimento dos processos hídricos urbanos direcionam as pesquisas a utilizar materiais com tecnologia ainda mais avançada. Deste ponto de vista diversos autores pesquisaram e discutiram o assunto por vários anos, atualmente atentam-se na utilização de dados aeroespaciais ou terrestres captados pelo sistema LIDAR (Light Detection And Ranging), que exibe uma excelente resolução de imagens principalmente após a última atualização que proporcionou melhorias tanto nas malhas grossas quanto nas finas em áreas de menor escala permitindo uma análise mais detalhada, além da diminuição dos erros de elevação vertical. Com isso é certo afirmar que a qualidade da resolução dos dados processados é parte extremamente importante para se realizar uma análise adequada ao cenário do evento e obter resultados satisfatórios e consistentes e ainda deve-se considerar que o tratamento de dados de resolução fina obtidas pelo LIDAR em modelos de hidrológicos é considerada uma tecnologia eficaz que envolve não apenas o conhecimento hidrológico mas também o conhecimento em sensoriamento remoto (SR) e geração de redes de drenagem. (Hsu et al., 2000; Brown et al. 2007; Mason et al., 2007; Gallegos et al., 2009; Tsubaki e Fujita, 2010; Feltrell et al., 2011; sampson et al., 2012; Ozdemir et al., 2013).

Devido à importância evidente para o melhoramento das pesquisas em relação a enchentes e alagamentos em áreas urbanas e ainda pela ausência de trabalhos utilizando o sistema LIDAR para a temática hídrica no cenário nacional, em especial para a região Nordeste e o estado de Pernambuco, este estudo possui objetivo de avaliar as áreas inundáveis em Recife, com especial atenção a avenida Caxangá, iniciando uma avaliação sobre a drenagem convencional utilizando a tecnologia LIDAR.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

O seguinte trabalho se desenvolve no município de Recife, capital Pernambucana, localizada na região Nordeste do Brasil, localizada nas coordenadas geográficas de 8° 04' 03" S de latitude e 34° 55' 00" W de longitude. A área corresponde a 218,50 km², com 1.645.727 habitantes (IBGE, 2019). A cidade apresenta um forte desenvolvimento urbano acometidos por um

sistema de drenagem em déficit que proporciona diversos alagamentos de forma constante em diversos lugares da metrópole (Junior Silva e Silva, 2016). Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento da Cidade do Recife (PDCR) o espaço urbano é dividido em 6 Regiões Político-Administrativas (RPA), entretanto esse estudo

limita-se apenas a RPA 4 que se localiza na porção oeste, que de acordo com a Emlurb apresenta 18 pontos e 6 vias com problemas de alagamentos, incluindo a avenida arterial Caxangá, que recebe o destaque neste trabalho (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica da avenida Caxangá e as Regiões Político-Administrativas (RPA), Recife - PE. Fonte: Autora

Dados utilizados

Foram utilizados dados capturados pelo sistema aerotransportados do sensor LIDAR, obtidos e fornecidos pela Prefeitura Municipal do Recife (todos os direitos reservados). A alta resolução dos dados correspondem a 50 cm, eles são resultado do voo realizado em 2014.

Processos realizados

Primeiramente realizou-se a identificação e seleção das quadrículas do LIDAR Recife por ordem de sequência numérica em seu formato original xyz. Isso se tornou essencial para apenas utilizarmos as quadrículas necessárias para a constituição por completo da avenida Caxangá, foco principal deste trabalho. No total foram 12 quadrículas utilizadas, essas são: 80_79-05; 80_89-05; 80_89-00; 80_98-05; 80_99-00; 81_70-00; 81_60-05; 81_60-00; 81_50-05; 81_51-00; 81_41-00 e 81_41-05. O pós-processamento se deu

através do software de modelagem Quick terrain modeler que permite o processamento dos dados LIDAR, através dessa ferramenta é possível obter a geração de modelos digitais de elevação (MDE) de alta precisão e a visualização tridimensional do modelo, além disso possibilita movimentos (inclinare rotacionar) que facilitam a análise. Neste trabalho além dos MDE individuais de cada quadrícula, se elaborou um extenso MDE que capta a avenida Caxangá nitidamente, porém, apenas os modelos produto das quadrículas 81_50-05 e 81_60-05 serão enfatizadas neste estudo.

Acúmulo de Fluxo

Após a conversão das quadrículas xyz para o formato LAS dataset, estes foram transportados para o software de geoprocessamento Arcgis 9.3 (licenciado pelo laboratório de sensoriamento remoto e geoprocessamento- SERGEO) que fornece aplicações baseadas em padrões para

realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento e em seguida modificado para o formato Raster e assim processados na ferramenta Hydrology que permite a delimitação e criação de redes de drenagem diante a um algoritmo padrão sobre as células do MDE. Através desse processo se obteve as direções de fluxos e acúmulos de fluxo para as respectivas quadrículas em ênfase.

A acumulação de fluxo trata-se de uma varredura do fluxo acumulado para cada célula do raster, conforme determinado acumulando o peso de todas as células que fluem para cada célula da inclinação inferior.

O fluxograma (Figura 2) a seguir define resumidamente esse processo:

Figura 2: Fluxograma resumindo os processos realizados.

Resultados e discussão

O mosaico de elevação digital mostra a junção das 12 quadrículas (Figura 3) para gerar uma visualização completa da avenida Caxangá, esse resultado exibe o misto de elementos e cotas altimétricas presentes nas 12 quadrículas utilizadas. Os seis blocos nomeados A; B; C; D; E; F representam a união de duas quadrículas e facilitam a localização de cada MDE. A avenida

Caxangá é visivelmente identificada ao centro da imagem, pois se trata do extenso segmento de reta que se inicia próximo ao Museu da Abolição no bairro da Madalena localizada a Sudeste, bloco F (partindo da quadrícula 80_79-05) e se encerra nas proximidades da Unidade de pronto atendimento - UPA no bairro da Caxangá, mais a noroeste do MDE, bloco A (considerando a quadrícula final 81_41-05).

Figura 3: Representação da junção dos 12 MDEs com enfoque para as quadriculas 81_50-05 e 81_60-05.

Ao observar a ampliação do recorte dos blocos B e C (Figura 4) percebe-se o nível de detalhamento, por conta de sua alta resolução espacial, permite-nos descrever com clareza as regiões com maior depressão e outras mais suaves de um determinado alvo, como, no caso dos pontos em destaque 1, 2, 3 e 4 localizados na avenida Caxangá e proximidades.

Além disso, o nível de detalhamento dos dados é maior descrevendo as silhuetas dos componentes do terreno como: vias, ruas, grandes e pequenos telhados e dóceis de árvores, tornando-as mais próxima da realidade. Em modelos digitais com malhas ainda mais finas que 50 cm pode-se obter a identificação de ruas, calçadas, meio fios e até mesmo dispositivos de drenagem no ambiente urbano, entretanto podem apresentar mais erros e ruídos na resolução, mesmo após a última atualização, isso por tornar-se imagens mais pesadas

(Tsubaki e Fujita, 2010; Feltrell et al., 2011; sampson et al., 2012) podendo comprometer os resultados. A variação de altura mostra diversidade em cores e corresponde a 3 m para mínima (azul) e 19 m para máxima (vermelho). Contudo, o estudo concentra-se as cotas baixíssimas a Centro-norte (azul escuro) e baixas a centro-sudeste (azul claro), delimitando quatro pontos de destaque para localizar as áreas com maior adesão a confluência de fluxo em relação ao trecho da avenida Caxangá e certificar a credibilidade do MDE.

Brown et al.,(2007) e Fewtrell et al.,(2010) apresentam em seus respectivos trabalhos evolução entre modelos digitais partindo dos dados LIDAR em junção a modelos hidrológicos para áreas urbanas. Em visão geral a topografia artificial ocupa grande parte do trecho em loco que juntamente com os declives naturais podem influenciar e intensificar o padrão de escoamento natural.

Figura 4: Acúmulo do fluxo diante da avenida Caxangá.

De acordo com a Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana - EMLURB a Av. Caxangá é considerada uma das vias arteriais da cidade de Recife, totalizando uma extensão que corresponde a 6,20 km em linha reta, englobando 11 cruzamento em seu percurso. O trecho delimitado para o acúmulo de fluxo equivale a aproximadamente 850 m (medição no Google Earth pro) da via em questão, destacando-se 4 pontos. O mapa de acúmulo de fluxo (Figura 4) exhibe pontos com consideráveis níveis de acúmulo de células de varredura nos sentidos Noroeste: pontos 1 e 2; e a Sudeste: pontos 3 e 4. A localização das áreas apresentam cotas rebaixadas e/ou com grande sobrecarga de elementos artificiais, sendo mais intensas para os destaques 1 e 2 e mais suaves para os destaques 3 e 4, isso partido do MDE antes analisado (Tabela 1, Figura 3). Além disso, observa-se o comportamento das direções de fluxos entre as vias que influenciam nitidamente o escoamento superficial, segundo

Gallegos et. al (2010) às ruas trabalham como uma espécie de canais que direciona as águas superficiais para terrenos com cotas rebaixadas e necessitam da resolução da altimetria através de metodologias que envolva modelos hidrológicos, Tucci (2004) ainda complementa que a influência das obras antrópicas sobre o terreno é considerável, pois implica nos desajustes no percurso natural do escoamento superficial.

A sobreposição da orthophoto ao mapa de acúmulo (Figura 5) é um recorte fidedigno do mapa de uso e ocupação da terra, pois é perceptível a dicotomia entre áreas construídas e vegetadas e a influência destas. Porto et. al (2012), já comentavam que alterações no espaço físico-espacial no meio urbano como impermeabilização, edificações, canalizações entre outros, causam mudanças severas no escoamento da água e isso pode tornar essas mudanças permanentes na dinâmica hídrica.

Tabela 1 – Pontos de controle para avaliação do acúmulo de fluxo.

Destaque	Localização	Depressões variação em metros	Variação do acúmulo de fluxo
1	T.I CDU/ BRT	3 m a 4 m	619 - 1.595
2	Cruzamento Av. Caxangá/BR 101	3 m a 4 m	68 - 287
3	Hospital Barão de Lucena	2 m a 6 m	68 - 619
4	Viaduto BRT- Caxangá	4 m a 6 m	1.094 - 1.595

Figura 5 : Acúmulo de fluxo sobre orthophoto diante a Av.Caxangá.

Os números correspondentes aos acúmulos de fluxos (Figura 4) se destacam pela diferenciação em espaços próximos e semelhantes, reconhecendo assim a interferência da atividade antrópica. Os acúmulos com maior intensidade correspondem aos pontos de destaque 1 referente ao trecho do Terminal integrado da cidade universitária (T.I.CDU) e estação do Bus Rapid Transit (BRT); e para o ponto 4 que engloba o viaduto do BRT, Tabela 1. Essas localidades apresentam áreas

depressivas sendo natural a confluência, assim como ressaltam Carvalho e Silva (2006) que fala sobre o relevo e suas características morfométricas se associam diretamente aos processos de escoamento e de drenagem, considerando locais com maior declividade propício ao acúmulo.

Além disso é notável os espaços impermeabilizados no mapa (Figura 5), isso contribui para diminuir e/ou anular a aptidão de infiltração de água no solo (Hsu et al., 2000),

resultando no aceleração do escoamento e aumento do volume de água. Gonçalves e Nucci (2017) consideram o aumento da velocidade do escoamento das águas pluviais por causa da impermeabilização como principal fator para inundações, pois diminui o tempo de alcance da vazão, que nesse caso seria os mecanismos de drenagem que se sobrecarregam no meio urbano.

Deve-se ressaltar ainda para esses pontos a verticalização dos fixos que circundam a área, esses atuam como obstáculos gerando uma pressão sobre a Av. Caxangá e obstrui o curso natural do escoamento, detalhe para a estação do BRT; Viaduto da Caxangá e do BRT, localizados em meio a Av. Caxangá. Brown et al., (2007); Gallegos et al., (2009); Ozdemir et al., (2013); entre outros consideram que a verticalização antrópica é protagonista na suscetibilidade a inundações urbanas por bloquearem o fluxo e exercerem atrito sobre o escoamento da água, sendo necessária o estudo sobre tema e comprovação de suas consequências.

A discussão anterior pode ser aplicada ao ponto 2, localizado no cruzamento da Av. Caxangá com a BR 101 com terreno rebaixado e forte dinâmica antrópica. Os níveis de acúmulo mostram-se menos intensos comparados aos antes mencionados, contudo o acúmulo é relevante e deve ser considerado um local em potencial a problemas com alagamento e drenagem urbana por este estudo, principalmente quando associamos os dados com o cenário real.

As mídias locais evidenciam constantemente o ponto em destaque como principal foco de alagamento na Av. Caxangá, proporcionando índices visualmente altos de volume de água pluviais (Jornal do Comércio), isso consequentemente inviabiliza o sistema de drenagem local. Considerando que a rede de drenagem do Recife é bastante antiga, certamente foram considerados um coeficiente de escoamento superficial que representasse o padrão urbanístico daquela época, atualmente esse padrão com certeza apresenta modificações e com isso a sobrecarga da drenagem convencional.

Segundo Ozdemir et al., (2013) quando os sistemas de drenagem naturais e artificiais apresentam déficit na sua capacidade de suportar o volume de águas pluviais ocorrem inundações/enchentes de águas superficiais no ambiente urbano.

As falhas nos sistemas de drenagem podem ser ocasionadas pelo fato da água superficial não interagir com os drenos em meio a cidade (Sampson et al. 2012), essa não interação

pode acontecer pelo excessivo volume de água e ao acúmulo de resíduos sólidos despejados que acabam danificando os dispositivos e interferindo na eficiência.

Acúmulos moderados também se concentram diante ao ponto 3 que compreende a área pertencente ao Hospital Barão de Lucena. A formação do terreno exhibe dois níveis de rebaixamento (Figura 4) e se desassocia um pouco dos espaços urbanos, pois é contemplado com a presença de uma considerável vegetação, sendo estas árvores altas com grandes dosséis e vegetação rasteiras.

Os níveis de acúmulo sofrem influência devido a interceptação e retenção das águas pluviais, permitindo ocorrer o processo natural de drenagem através da infiltração do solo por causa da cobertura vegetal. Com isso o acúmulo diminui, pois a água consegue de forma satisfatória infiltrar no solo propiciando alagamentos moderados. A dinâmica no ponto 3 mostra a diferença entre áreas vegetadas e construídas através dos níveis de acúmulo de fluxo em áreas próximas e com elevações similares, isso em comparação ao ponto 4, impactando de forma e intensidade diversa no meio.

De acordo com Tucci e Bertoni (2003), aproximadamente 90% da água em ambientes inalterados ou pré-urbanizado conseguem atingir o processo natural de infiltração ou/evapotranspiração, diferentemente de um ambiente fortemente urbanizado, onde mais de 70% escoam sobre as superfícies impermeáveis. Isso apenas reforça a discussão sobre as alterações no meio ambiente e suas consequências em relação à retirada de cobertura vegetal para o desenvolvimento urbano.

Gonçalves e Nucci (2017) ressaltam a impermeabilização e a drenagem convencional como fatores relevantes para o controle de inundações urbanas, isso devido a desconsideração dos processos hídricos naturais em relação ao uso do solo. Esses não interagem de forma harmoniosa com o meio ambiente causando sufocamento de transtornos para a população.

Conclusões

Mitigações e possíveis soluções eficientes sobre os transtornos de alagamento e enchentes urbanas na avenida Caxangá parte de vários fatores, que incluem além de medidas estruturais para determinado ponto, também como educação ambiental para conscientização da população em relação ao despejo lixo e melhor convívio com o meio urbano e ainda análises considerando a

paisagem e a dinâmica hídrica diante a geógrafos para serem integradas aos projetos de reestruturação da drenagem.

Em visão geral, os dados do sistema LIDAR responderam positivamente, tanto na captação na modelagem do terreno e topografia artificial, como também para as gerações de direções e acúmulo de fluxos apresentando maiores valores para áreas depressivas e com forte adensamento antrópico e ainda a atuação desses fluxos sobre a Av. Caxangá, comprovando assim a eficiência da resolução.

Ademais, pode-se concluir que a drenagem natural se faz eficiente quanto ao comportamento dos acúmulos diante a uma área vegetada, exibindo capacidade na infiltração mesmo estando circundada por constante desenvolvimento humano. Esse poderia ser o início a pensar sobre o desenvolvimento de um sistema de drenagem sustentável - SiDS e assim amenizar os transtornos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-FACEPE pelo auxílio financeiro junto ao Edital de número 02/2019, processo nº: BIC-0107-3.07/19. À Prefeitura do Recife pela disponibilização dos dados LIDAR Recife. Ao laboratório de sensoriamento remoto e geoprocessamento - SERGEO, e a Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Referências

- Brown, J. D.; Spencer, T.; Moeller, I. 2007. Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. *Water Resources Research*, 43.
- Da Silva Junior, M. A., B.; Da Silva, S. R. 2016. Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9, 2034-2053.
- Fewtrell, Timothy J. et al. 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36, 281-291.
- Gallegos, H. A.; Schubert, J. E.; Sanders, B. F. 2009. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Advances in Water Resources*, 32, 1323-1335.
- Gonçalves, F. T.; Nucci, J. C. 2017. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do rio Juvevê, Curitiba-PR. *Ra'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise*, 42, 192-209.
- Hsu, Ming-Hsi; Chen, Shiu-an-Hung; Chang, Tsang-Jung. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology*, 234, 21-37.
- IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 fev. de 2020.
- JC ONLINE 2019. Confira os pontos de alagamento no Grande Recife nesta quarta-feira. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/jc-transito/noticia/2019/07/24/confira-os-pontos-de-a-lagamento-no-grande-recife-nesta-quarta-feira-383953.php>. Acesso em: 13 jun. de 2020.
- JC ONLINE 2019. Fortes chuvas deixam rastro de mortes e destruição no Grande Recife. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2019/07/24/fortes-chuvas-deixam-rastro-de-mortes-e-destruicao-no-grande-recife-383978.php>. Acesso em : 13 jun. de 2020.
- Mason, David C. et al. 2007. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21, 1436-1447.
- Oliveira, R. C. de. 1998. Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso: bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP). Dissertação (mestrado) EESC-USP, São Carlos.
- Ozdemir, H. et al. 2013. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 5903-5942.
- PCR. Prefeitura da Cidade do Recife, 1978. Plano Diretor Executivo de Águas Pluviais do Recife.
- Pitt, Michael et al. 2008. Learning lessons from the 2007 floods. London: Cabinet Office.
- Rocha, A. C. P. 2013. Análise morfodinâmica e morfogenética do interflúvio do médio curso da margem direita do rio Beberibe. Departamento de ciências geográficas, programa de pós-graduação em Geografia. 125 f. Recife.
- Sampson, C. C. et al. 2012. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. *Advances in water resources*, 41, 1-17.
- Tsubaki, R.; F., I. 2010. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood

- inundation modelling. Hydrological Processes: An International Journal, 24, 1404-1420.
- Tucci, C. E. M. 2004. Hidrologia: ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: ABRH.
- Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. 2003. Inundações Urbanas na América do Sul. 1 ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Tucci, C. E.M. 1997. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. Revista brasileira de recursos hídricos, 2, 5-12.