

ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE COMO MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS DE ALAGAMENTO EM ÁREAS URBANAS

Fernando Esteves Naves¹
Rherison Tyrone Silva Almeida²

Resumo

Objetiva-se avaliar o método do Índice Topográfico de Umidade (TWI) para identificação de pontos de alagamentos em áreas urbanas, utilizando como estudo de caso o município de Goiânia (GO). Foram utilizados registros de alagamentos e vítimas fatais da Defesa Civil, dados de geologia e declividade e um Modelo Digital de Elevação de 4,6 metros de resolução espacial. Para obtenção do TWI, aplicou-se o MDE em um software para Sistema de Informações Geográficas. Os pontos de alagamento e de vítimas fatais registrados pela Defesa Civil de Goiânia demonstram conformidade com os valores identificados no mapeamento do TWI. Foi observado vítimas fatais em locais com valores de TWI acima de 9,4. A ocorrência de vítimas fatais está associada também com a proximidade de corpos hídricos e ausência do cumprimento da legislação ambiental referente às Áreas de Preservação Permanente. Recomenda-se o TWI para identificação de áreas de risco como método para adoção de medidas estratégicas.

Palavras-chave: inundações; geoprocessamento; drenagem urbana.

TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX AS A METHOD FOR IDENTIFY FLOOD POINTS IN URBAN AREAS

Abstract

The objective is evaluate the Topographic Wetness Index (TWI) method to identify flooding points in urban areas, using Goiania, GO, Brazil as a case study. Was used records of floods and fatal victims of the Civil Defense, geology and declivity data and a Digital Elevation Model (DEM) of 4.6 meters spatial resolution. To obtain the TWI, the DEM was applied to Geographic Information System software. The flooding points and fatalities recorded by the Civil Defense of Goania demonstrate compliance with the values identified in the TWI mapping. Fatal victims were observed in places with TWI values above 9.4. The occurrence of fatal victims is also associated with the proximity of water bodies and the lack of compliance with environmental legislation regarding Permanent Preservation Areas. TWI is recommended to identify risk areas as a method for adopting strategic measures.

Key-words: floods; geoprocessing; urban drainage.

¹ Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Goiás. E-mail: fernandoenaves@gmail.com.

² Professor Adjunto de Recursos Naturais e Geomática no Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás. Email: rherison.almeida@gmail.com

INDICE TOPOGRAPHIQUE D'HUMIDITÉ COMME MÉTHODE D'IDENTIFICATION DES POINTS D'INONDATION DANS LES ZONES URBAINES

Résumé

L'objectif est d'évaluer la méthode de l'indice d'humidité topographique (IHT) pour identifier les points d'inondation dans les zones urbaines, en utilisant la ville de Goiânia, Brésil, comme étude de cas. Des enregistrements d'inondations et de victimes mortelles de la protection civile, des données de géologie et de déclivité et un modèle numérique d'élévation de 4,6 mètres de résolution spatiale ont été utilisés. Pour obtenir le IHT, le MDE a été appliqué au logiciel du système d'information géographique. Les points d'inondations et les décès enregistrés par la Défense civile de Goiânia démontrent le respect des valeurs identifiées dans la cartographie IHT. Des victimes mortelles ont été observées dans des endroits avec des valeurs IHT supérieures à 9,4. La survenue de victimes mortelles est également associée à la proximité des plans d'eau et au non-respect de la législation environnementale relative aux aires de préservation permanente. Il est recommandé à IHT d'identifier les zones de risque comme méthode pour adopter des mesures stratégiques.

Mots-clés: inondations; géotraitement; drainage urbain.

INTRODUÇÃO

As transformações ocasionadas pela urbanização desordenada tendem a não considerar a dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas. A impermeabilização do solo e a ocupação de planícies de inundação associados à implantação de sistemas de drenagem deficientes – quando existentes –, desfavorecem os aspectos como a infiltração e escoamento natural das águas pluviais, ocasionando maiores picos de vazão a jusante. Tais fenômenos provocam as enchentes, inundações e alagamentos dentre outros grandes prejuízos para população, e ao patrimônio público e privado (LEITE & ROCHA, 2016).

De acordo com o Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres, elaborado por Castro (2002), alagamento é definido como a água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Por sua vez, a enxurrada é definida como volume de água que escoar na superfície do terreno, com grande velocidade, resultante de fortes chuvas, enquanto a inundação é definida como o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas.

A drenagem urbana é tratada junto ao saneamento conforme a LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007 que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Estes serviços devem ser prestados com universalização de acesso, integralidade, segurança, qualidade, regularidade e continuidade, de modo que todos possam usufruir de forma integral e eficiente dos serviços de saneamento, incluindo a drenagem urbana.

De acordo com o inciso IV do art. 3º desta lei, os serviços devem ser ofertados tendo como base a disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida, do patrimônio público e privado. Assim como citado no inciso V e VIII, deve-se observar a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, além do estímulo à pesquisa, ao desenvolvimento e à utilização de tecnologias apropriadas, a adoção de soluções graduais e progressivas e a melhoria da qualidade com ganhos de eficiência e redução dos custos para os usuários (BRASIL, 2007).

Nos últimos anos, as técnicas de geoprocessamento têm sido aplicadas para tomada de decisões estratégicas nas áreas urbanas. Com objetivo de mapear áreas susceptíveis a inundação e alagamento na bacia do córrego Josefa Gomes, Formosa-GO, Ramalho et al. (2017) constatou que o processo de urbanização, a impermeabilidade do solo, baixos valores de declividade, deficiência no sistema de drenagem dentre outros motivos, são os que mais propiciam na ocorrência de inundações e alagamentos. A utilização das ferramentas de geoprocessamento neste caso se mostrou muito satisfatória, conseguindo evidenciar as áreas mais susceptíveis permitindo o seu mapeamento, além de ser uma metodologia de baixo custo.

Em Portugal, Girão et al. (2017) simularam fenômenos complexos de drenagem urbana, tanto em termos hidráulicos quanto de qualidade de água utilizando ferramentas de geoprocessamento. Estas ferramentas permitiram avaliar o impacto ambiental de descargas que ocorrem em situações extremas, visando o cumprimento das recomendações legais.

Na cidade de Patrocínio (MG) manchas de inundação em escala de microrregião foram modeladas utilizando o método HEC-RAS e os algoritmos inseridos no GRASS (REIS, 2015). Esse método permitiu a criação de mapas de riscos de enchentes e inundações, apresentando aspectos diferentes quanto à localização e profundidade das manchas de ocupação das águas em eventos intensos de chuva.

Outra técnica aplicada em geoprocessamento que pode ser utilizada visando a identificação de pontos de alagamentos é o Índice Topográfico de Umidade (TWI–

Topographic Wetness Index, em inglês), o qual permite identificar e distribuir espacialmente as áreas com saturação hídrica, permanente ou temporária. Esta técnica é baseada na relação entre a declividade local e a área de contribuição específica da montante, sabendo que o Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado no processo é significativo para o mesmo (CAPOANE et al., 2015).

Neste sentido, objetiva-se avaliar o método do Índice Topográfico de Umidade para identificação de pontos de alagamentos em áreas urbanas, utilizando como estudo de caso o município de Goiânia (GO).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

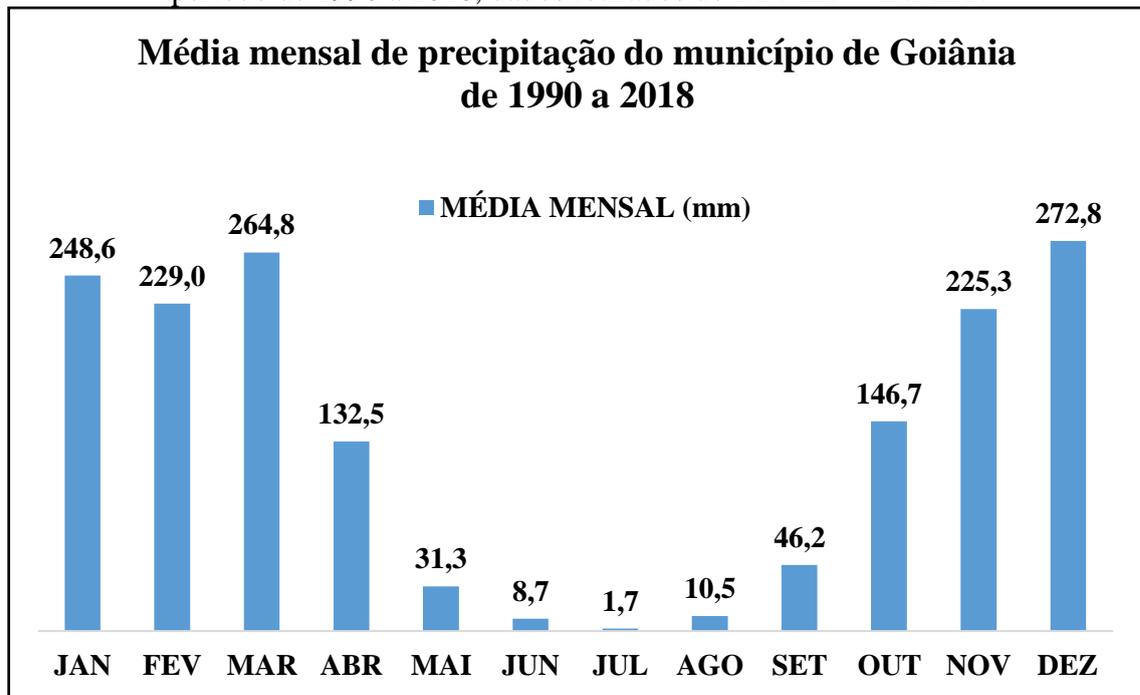
O estudo foi realizado no município de Goiânia, capital do estado de Goiás (Figura 1). Este município possui área territorial de 728,841 km², sendo que cerca de 418 km² se referem à área urbanizada. A população estimada está estimada em 1.495.705 habitantes e possui densidade demográfica de 1.776,74 hab/km² (IBGE, 2019).

Figura 1. Mapa de localização do município de Goiânia e entorno.



O clima predominante é o Tropical Úmido com temperatura anual média de 22,9°C (REGO, 2014), com Regime hídrico típico de regiões do Cerrado, Goiânia possui duas estações bem definidas, sendo que os maiores índices de precipitação ocorrem no verão. Junho, Julho e Agosto são os meses com menor precipitação (Figura 2). Nascimento et al. (2019) identificaram para a região eventos extremos de precipitação, partindo de 36,6 mm em 1966 e chegando aos 136,6 mm em 2005, principalmente nos meses de fevereiro e dezembro, mas também nos meses de outubro e novembro que marcam o início, e março e abril o término do período chuvoso, respectivamente. Em episódios extremos de precipitação podem ser observados problemas de apagões, alagamentos, arrastamento de veículos, congestionamento, destruição patrimonial entre outros.

Figura 2. Gráfico da média mensal de precipitação, em mm, do município de Goiânia, no período de 1990 a 2018, dados retirados do BDMEP – INMET.



Base de Dados

Como dado de elevação, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) de Goiânia, o qual possui resolução espacial de 4,7 metros. Este dado foi elaborado a partir da interpolação de um grande conjunto de pontos altimétricos, extraídos de pares estereoscópicos e formados por fotografias aéreas de todo o município de Goiânia no ano de 2006.

Dentre os dados vetoriais, utilizaram-se os shapefiles de ruas, quadras, hidrografia e limites municipais (oriundos da base MUBDG v.25 do ano 2015), e o de geologia provenientes da - Superintendência de Geologia e Mineração – (SIC).

Foram utilizados registros de alagamentos ocorridos no município de Goiânia visando espacializar no software QGIS 3.4 e intersectar com os dados vetoriais e o MDE. Esses registros foram elaborados pela Defesa Civil de Goiânia e está disponível no formato de planilha eletrônica no site <http://estaticog1.globo.com/2018/01/30/2_PLANILHA_DE_PONTO_DE_ALAGAMENTO_S_2.018--1.pdf>. São constados nesta planilha os pontos críticos de alagamentos, conforme o setor (bairro), delimitação, Código Brasileiro de Desastres (COBRADE), coordenadas e observações informando sobre as ocorrências de enxurradas, inundações e vítimas fatais.

Procedimentos

No software QGIS, aplicaram-se produtos derivados do MDE, tais como área de contribuição e declividade para a inserção no cálculo do Índice Topográfico de Umidade (Equação 1). Para o raster de declividade, utilizou-se a classificação da Embrapa (1979). A obtenção dos dados do TWI foi realizada por intermédio da ferramenta Saga wetness index.

$$TWI = \ln \frac{AC}{\tan \beta}$$

Onde: (Equação 1)

AC = Área de contribuição

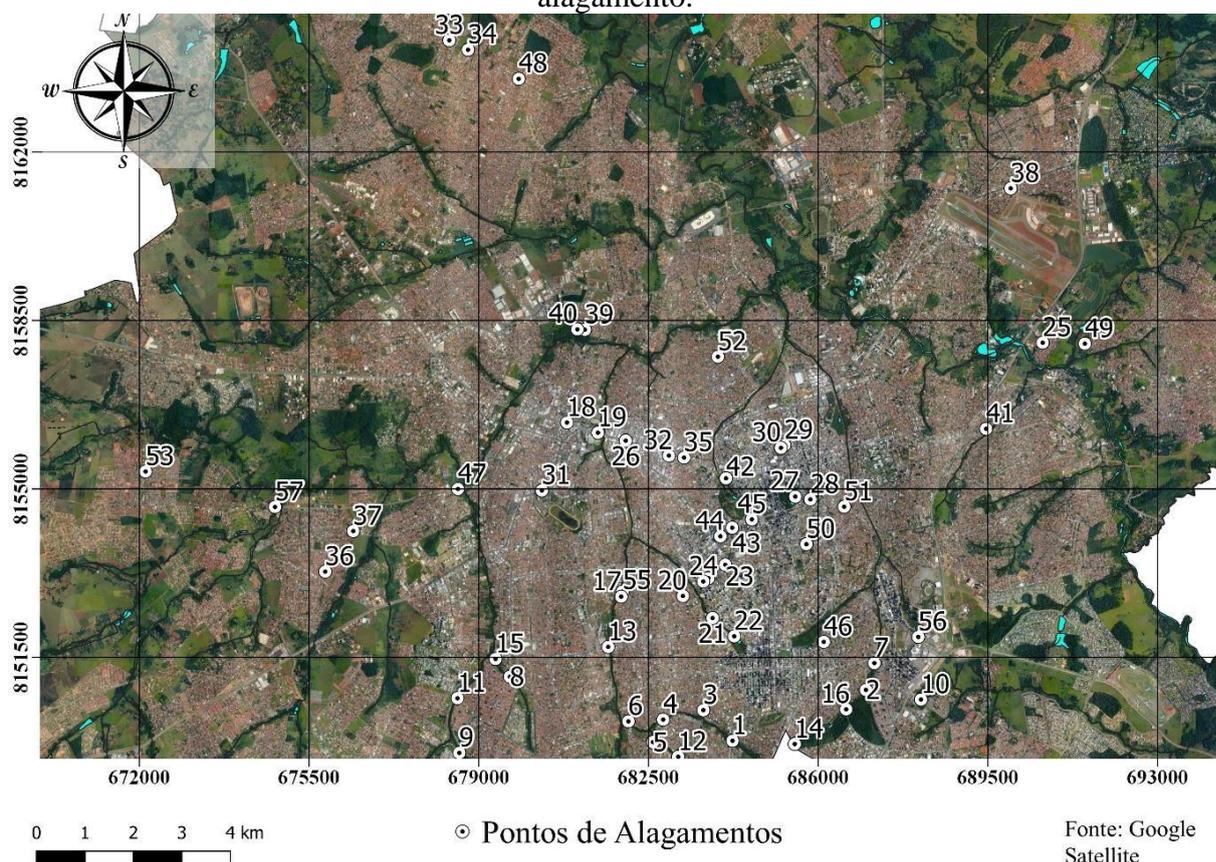
β = Declividade

Após a geração do mapa do TWI, foi realizada uma intersecção deste com a planilha espacializada dos pontos de alagamentos obtidos pela Defesa Civil, possibilitando identificar o valor do TWI para cada ponto de alagamento identificado pela Defesa Civil. A partir do cruzamento dessas informações foi elaborado um gráfico de dispersão para melhor entendimento dos dados, além de propor uma classificação para os pontos. Para a análise dos dados foi utilizada estatística descritiva, estabelecendo valores de Média, Moda, Mediana, Máxima, Mínima, Desvio Padrão e Variância dos valores do TWI associados aos pontos de alagamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento realizado pela Defesa Civil foram identificados 57 pontos críticos de alagamento no município de Goiânia (Figura 3).

Figura 3. Ortofoto da área urbana do município de Goiânia com ocorrência de pontos de alagamento.



Fonte: Google Satellite

Conforme o relatório da Defesa Civil, 34 setores de Goiânia possuem ocorrências de alagamentos, inundações e/ou enxurradas, o que representa 5% do total de bairros do município. Nas observações dessa tabela é ainda informado ocorrências com vítimas fatais, as quais foram identificadas nos pontos 1, 7 e 15, localizados nos setores Parque Amazonas, Pedro Ludovico e Vila Novo Horizonte, respectivamente. Nesses locais, os valores do TWI foram superiores a 9,42, indicando saturação hídrica na superfície do solo. As observações mais frequentes foram alagamentos em 48 pontos, enxurradas em 24 pontos, inundações em 20 pontos e deslizamento de terra em 1 ponto (Tabela 1).

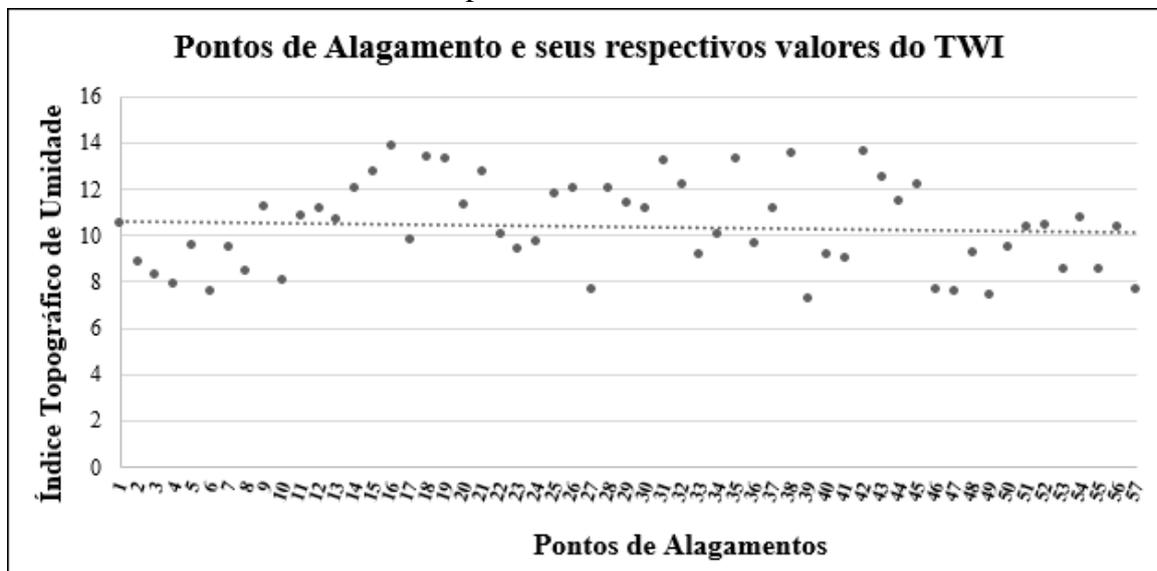
Tabela 1. Pontos de alagamento em Goiânia, retirados da síntese da planilha de pontos críticos de alagamento fabricada pela Defesa Civil, associada aos valores do TWI e Declividade.

Nº	TWI	Decl.	SETOR	OBSERVAÇÕES
1	10,49	5,30	Parque Amazonas	Alagam., Inund. e Enxurr. (01 Vítima Fatal)
2	8,83	8,32	Vila Redenção	Alagam., Inund. e Enxurr.
3	8,24	7,82	Parque Amazonas	Alagam., Inund. e Enxurr.
4	7,86	17,53	Parque Amazonas	Alagam., Inund. e Enxurr.
5	9,52	2,47	Parque Amazonas	Alagam., Inund. e Enxurr.
6	7,55	8,79	Jardim América	Alagam., Inund. e Enxurr.
7	9,42	7,04	St. Pedro Ludovico	Alagam., Inund. e Enxurr. (02 Vítimas Fat de Moto)
8	8,44	7,96	Vila Novo Horizonte	Alagam., Inund. e Enxurr.
9	11,20	4,29	Jardim Presidente	Alagam., Inund. e Enxurr.
10	8,05	10,26	Vila Alto Da Glória	Alagam., Inund. e Enxurr.
11	10,79	6,61	St. Novo Horizonte	Alagam., Inund. e Enxurr.
12	11,15	2,64	Parque Amazonas	Alagam., Inund. e Enxurr.
13	10,64	3,72	Jardim Planalto	Alagam., Inund. e Enxurr.
14	12,02	3,78	Jardim Esmeralda	Alagam., Inund. e Enxurr.
15	12,69	1,56	Vila Novo Horizonte	Alagam., Inund. e Enxurr. (01 Vítima Fatal Carro)
16	13,80	1,02	St. Pedro Ludovico	Alagam., Inund. e Enxurr.
17	9,78	5,17	Jardim América	Alagam., Inund. e Enxurr.
18	13,36	0,43	Setor Aeroviário	Alagam. da Avenida
19	13,23	0,73	Setor Aeroviário	Alagam. da Avenida
20	11,29	0,73	Jardim América	Alagam. da Rua
21	12,72	0,67	Setor Bueno	Alagam. da Avenida
22	10,02	7,16	Setor Bueno	Alagam. da Avenida
23	9,40	2,82	Setor Bueno	Enxurr. Bruscas
24	9,69	2,50	Setor Bueno	Alagam. da Avenida
25	11,80	0,62	Conjunto Caiçara	Alagam. e Inund.
26	11,98	0,87	Campinas	Alagam. da Avenida
27	7,64	5,96	Centro	Enxurr. Bruscas
28	12,03	2,77	Centro	Enxurr. Bruscas
29	11,32	3,71	Centro	Alagam. da Avenida
30	11,16	2,41	Centro	Alagam. da Avenida
31	13,16	0,58	Cidade Jardim	Alagam. da Avenida
32	12,13	2,57	Setor Coimbra	Alagam. da Rua
33	9,13	5,84	Curitiba III	Alagam. da Avenida
34	9,99	5,78	Estrela Dalva	Alagam. da Avenida
35	13,24	0,97	St. Funcionários	Alagam. da Avenida
36	9,61	3,13	Setor Goiânia Viva	Alagam. da Avenida
37	11,10	1,09	Bairro João Braz	Alagam. da Rua
38	13,50	0,77	Jardim Guanabara	Alagam. da Avenida
39	7,21	10,82	Res. Itamaracá	Alagam. da Rua
40	9,18	10,00	Res. Itamaracá	Alagam. da Rua
41	8,98	10,87	Jd. Novo Mundo	Alagam. da Avenida

42	13,57	0,28	Setor Oeste	Alagam. da Av. e Região
43	12,47	4,22	Setor Oeste	Alagam. da Avenida
44	11,42	5,69	Setor Oeste	Alagam. da Avenida
45	12,12	7,16	Setor Oeste	Alagam. da Avenida
46	7,67	7,08	St. Pedro Ludovico	Enxurr. Bruscas
47	7,56	6,97	Setor Perim	Alagam. e deslizamento de Terra
48	9,19	7,29	Recanto Do Bosque	Alagam. da Avenida
49	7,39	7,66	Setor Santo Hilário	Alagam. da Rua
50	9,46	4,01	Setor Sul	Alagam. da Rua
51	10,29	2,98	Setor Sul	Enxurr. Bruscas
52	10,42	1,97	S. Centro Oeste	Alagam. da Avenida
53	8,54	7,70	Cj. Vera Cruz	Alagam. da Avenida
54	10,72	2,75	Setor Bueno	Enxurr. Bruscas
55	8,53	20,80	Jardim América	Enxurr. Bruscas
56	10,30	3,22	Jardim Goiás	Inund. Bruscas
57	7,63	4,69	Pq. Ind. João Braz	Inund. Bruscas

No gráfico de dispersão entre o TWI e os pontos de alagamento, nota-se que os valores se aproximam de um valor médio próximo à 10 (Figura 4).

Figura 4. Dispersão associando os pontos de alagamento em Goiânia, retirados da síntese da Planilha de Pontos Críticos de Alagamento fabricada pela Defesa Civil, com os seus respectivos valores do TWI.



A análise estatística descritiva, Média, Moda e Mediana apontam respectivamente os valores de: 10,36; 10 e 10,3. O desvio padrão com valor de 1,89 indica um desvio relativamente inferior dos valores para com a média. O valor do TWI máximo e mínimo foram, respectivamente, 13,8 e 7,21. O valor máximo foi identificado no setor Pedro Ludovico, região sul de Goiânia. Enquanto que, o valor mínimo, no Residencial Itamaracá, região norte de

Goiânia. O valor da variância encontrado foi de 3,57, indicando a proximidade que os valores da amostra possuem com a média (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da estatística descritiva utilizada na análise dos dados de TWI pra cada ponto de alagamento.

Análise descritiva	TWI
Média	10,36
Moda (Valores inteiros)	10,00
Mediana	10,30
Máximo	13,80
Mínimo	7,21
Desvio Padrão	1,89
Variância	3,57

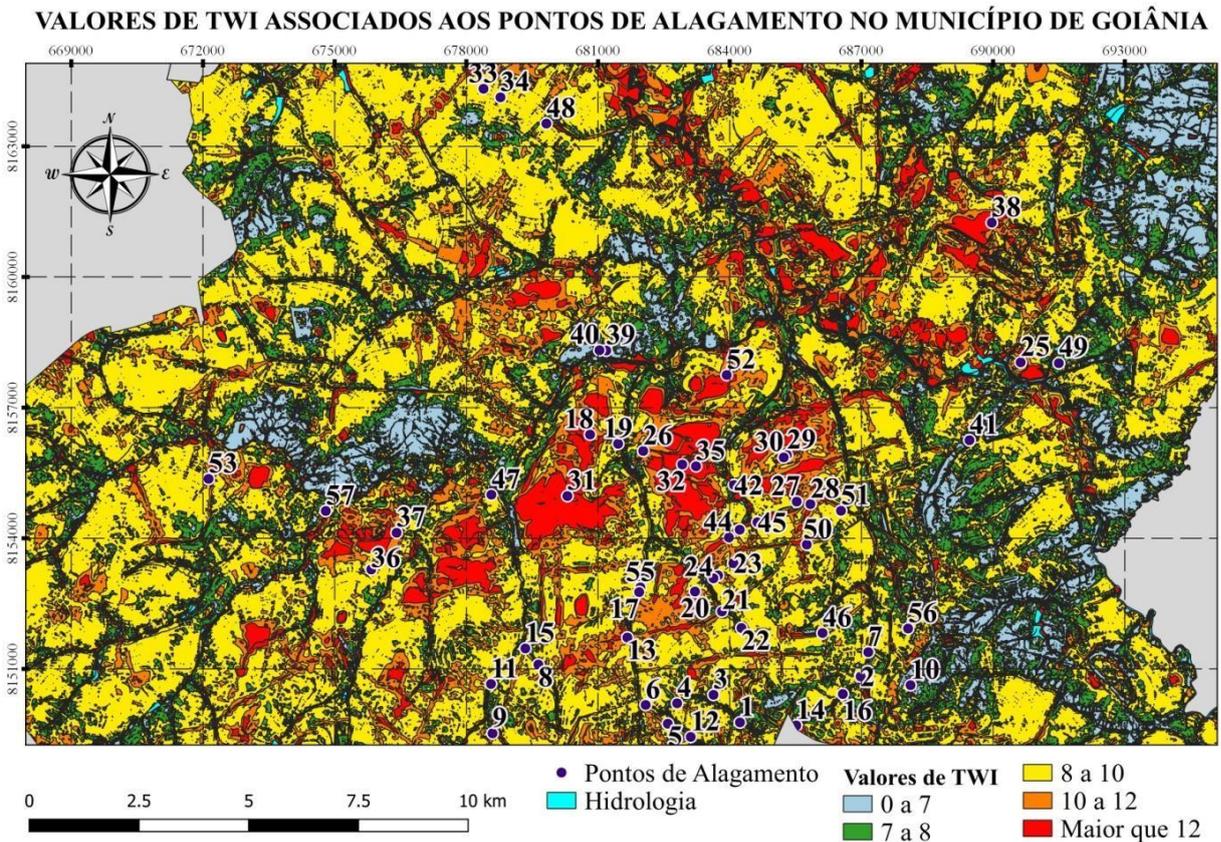
Baseado nessas observações estatísticas e dos relatos de vítimas fatais mencionados pela planilha da Defesa Civil (2019), os valores do TWI foram classificados em cinco classes de risco de alagamento: 0-7 (muito baixo), 7-8 (baixo), 8-10 (médio), 10-12 (alto) e, maior que 12 (muito alto). Conforme esta classificação, a área urbana do município de Goiânia pode ser predominantemente classificada como de médio risco a alagamentos (Figura 5).

Segundo Rego (2014) Goiânia possui incidência frequente de inundações e alagamentos, sobretudo nos setores Bueno, Jardim Guanabara I e II, Jardim América, Urias Magalhães, Pedro Ludovico, Campinas, Jardim Goiás. Esses autores justificam que, como são setores já consolidados e com alta taxa de impermeabilização do solo, tais problemas, somados a precipitação intensa, ocasionam em acidentes automobilísticos, invasão de casas pelas águas da chuva, danos materiais e até de vidas humanas. Conforme observado na Tabela 1, foram constatados pontos críticos de alagamentos em todos estes setores com exceção do setor Urias Magalhães.

Durante o período chuvoso em Goiânia, são relatados pontos de alagamentos, arrastamento de veículos, congestionamento, destruição patrimonial e elevação de cerca de 50 cm dos cursos de água (NASCIMENTO et al., 2019). É pertinente notar que os pontos de alagamento ocorrem em sua maioria próximos a corpos hídricos, sendo os principais o rio Meia Ponte, o ribeirão Anicuns, o córrego Cascavel, o Botafogo, o córrego Macambira, o córrego Buriti e o córrego Vaca Brava, incluindo todos os casos com vítimas fatais, e que estes

ocorreram em pontos com valores relativamente altos do TWI, sendo o valor mais distante de 10 igual a 12,69 no ponto da Vila Novo Horizonte, próximo ao Córrego Botafogo.

Figura 5. Mapa com os valores do TWI classificados e associados aos pontos de alagamento do município de Goiânia, datum utilizado, Sirgas 2000 UTM zona 22 S.



Boa parte dos pontos de alagamento encontram-se agrupados na região Centro-Sul de Goiânia. Com a expansão demográfica do município houve também o crescimento da área urbana e, sobretudo uma conturbação em sua porção sul (NASCIMENTO & OLIVEIRA, 2015). Devido ao crescimento urbano acelerado e a falta de planejamento desencadearam-se problemas ambientais, como inundações e alagamentos, já que a urbanização favorece a impermeabilização do solo e as práticas de engenharia na cidade não tendem a reduzir a vazão do escoamento que desagua nos corpos hídricos, haja vista as obras de canalização dos principais corpos hídricos da cidade.

Além dos aspectos da engenharia, a geologia pode ser considerada como outra característica que condiciona a topografia do município, principalmente no que diz respeito a ocorrência de áreas de saturação hídrica. A norte do município encontram-se os granulitos ácidos e básicos do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, composto por granulitos

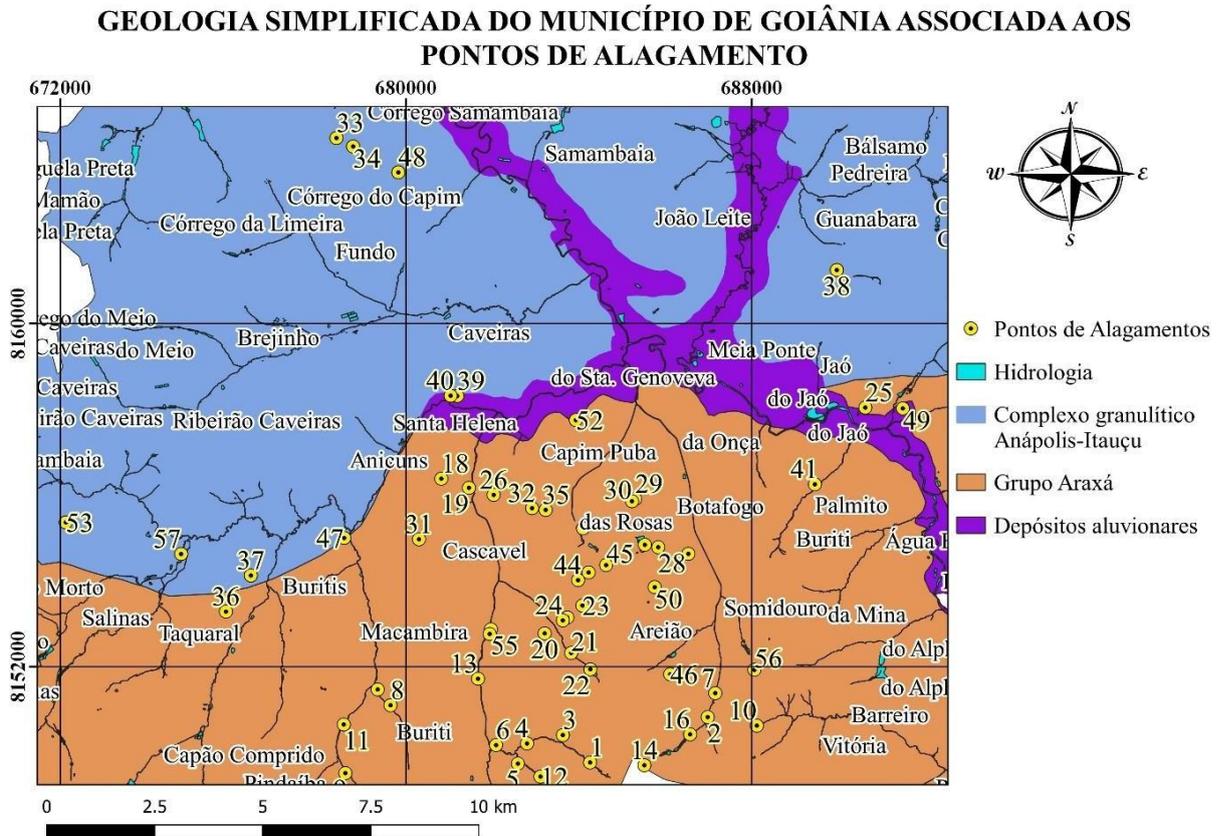
ortoderivados e paraderivados. Os ortoderivados são suscetíveis ao intemperismo químico, representados por charnockitos e/ou enderbitos, metagabros e metanortositos, metapiroxenitos e metavulcânicas básicas (MORETON, 1994). Nos granulitos paraderivados predominam-se as rochas silimanita-granada-gnaisses, as quais pela maior abundância de quartzo, os são muito mais resistentes ao intemperismo químico, relativamente aos ortogranulitos (FELICIANO, et al., 2009).

O Grupo Araxá-sul de Goiás encontra-se na porção sul do município, tratando-se de um conjunto de rochas sedimentares que sofreram metamorfismo de grau médio, resultando nos micaxistos dominantes (FELICIANO, et al., 2009). Nessas condições, o Grupo Araxá-Sul, diante da natureza geológica, possui maiores condições de percolação de água e devido à topografia menos declivosa que a parte Norte do município, favorece à oscilação do nível freático. Diante dessas circunstâncias, a porção norte, pode ser caracterizada por os solos em que a água percola menos que o relevo é mais inclinado em relação à porção sul. Feliciano et al. (2009) mencionam a ocorrência de Cambissolos distróficos (Cd) nos terrenos de mais altas declividades. Romão (2006) constatou a presença de Latossolos Vermelhos associados às vertentes à jusante das bacias do córrego Salinas/Cavalo Morto.

Existem ainda, trechos com a ocorrência de depósitos Aluvionais, os quais estão localizados às margens do córrego botafogo e podem se estender também para o Ribeirão Anicuns, alcançando a jusante da bacia dos córregos Salinas e Cavalo Morto. Conforme Feliciano et al. (2009), esses locais são típicos das várzeas ao longo dos rios e, embora moderadamente drenados, ocorrem em áreas com riscos de inundações anuais de curta duração, durante o período de maiores precipitações pluviométricas.

Nesses locais foram identificadas as ocorrências dos pontos 57 e 37 próximos aos córregos Salinas e Taquaral e com valores do TWI de 7,63 e 11,10, respectivamente. Devido à impermeabilização nas regiões das bacias dos córregos Salinas e Cavalo Morto, Feliciano et al. (2009) mencionam o registro de ocorrência de inundações provocadas pela impermeabilização, a qual promove um aumento na vazão dos cursos d'água, fazendo com que suas calhas não suportem a quantidade de água, extravasando para além de seu canal, atingindo casas construídas nas suas margens. Como exemplo disso, tais autores mencionam inundações ocorridas no bairro João Brás, justamente o local do ponto 37, identificado pela Defesa Civil (Figura 6).

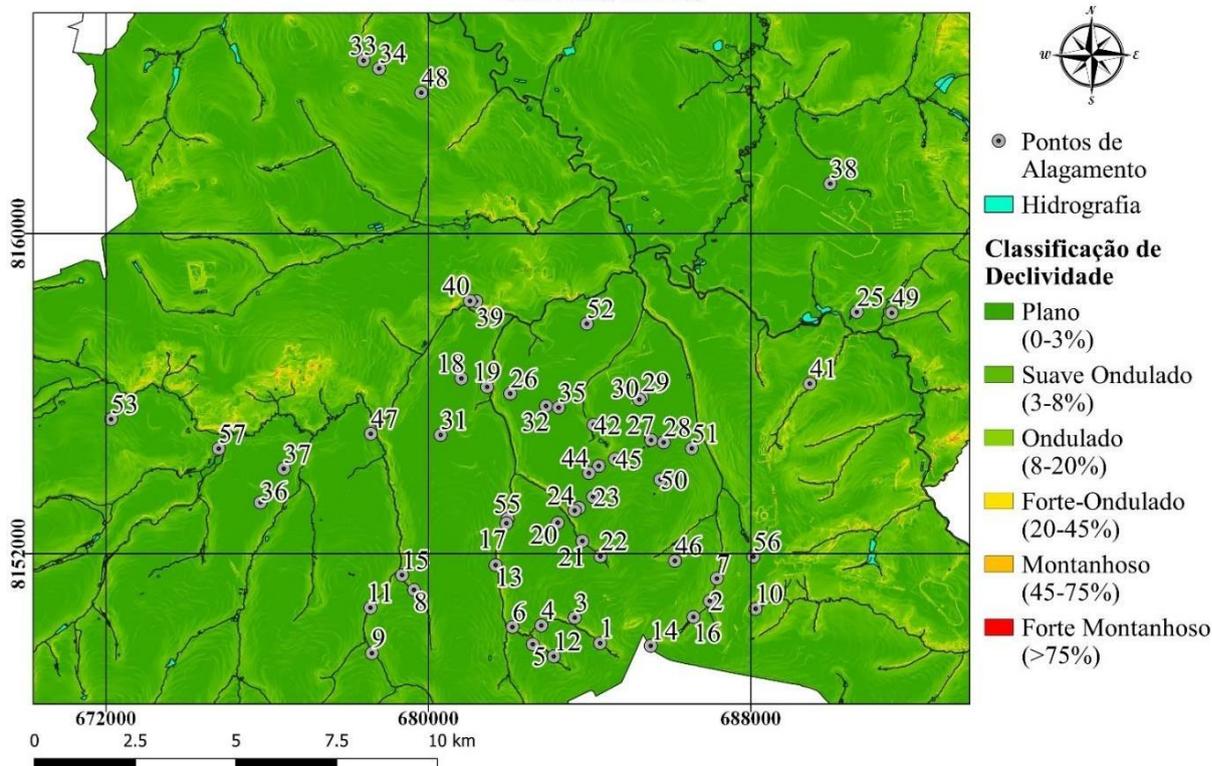
Figura 6. Mapa de Geologia da área urbana do município de Goiânia associado aos pontos de alagamento, datum utilizado, Sirgas 2000 UTM zona 22 S.



Como mencionado anteriormente, a aglomeração dos pontos está situada na porção sul, pertencente ao Grupo Araxá, essencialmente próximos aos cursos d'água. Nesses locais, pode ser evidenciada menor inclinação no relevo, principalmente entre o curso d'água e os pontos de alagamentos marcados pela Defesa Civil (Figura 7). As margens dos cursos d'água onde está situado o aglomerado de pontos possuem menor inclinação quando comparado a outras regiões do município, como a porção leste e porção norte, pertencente ao Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu. Essa característica, quando associada à impermeabilização do solo pela urbanização e pelas águas pluviais tendem a ocasionar maiores possibilidades de alagamentos devido ao volume excedente de água nos cursos d'água e à impossibilidade de drenagem das águas urbanas para os estes mesmos cursos d'água.

Figura 7. Declividade da área urbana do município de Goiânia associada aos pontos de alagamento, datum utilizado, Sirgas 2000 UTM zona 22 S.

DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA ASSOCIADA AOS PONTOS DE ALAGAMENTO



Os dez pontos de maiores valores do TWI são respectivamente os pontos: 16, situado a 12 m do córrego Botafogo; o ponto 42, a 54 m do Lago das Rosas; o ponto 38, a 415 m do córrego situado no setor Guanabara; o ponto 18, a 723 m do córrego Cascavel; o ponto 35, a 604 m do córrego Capim Puba; o ponto 19, a 83 m do córrego Cascavel; o ponto 31, a 1057 m do córrego do Açude; o ponto 21, a 27 m do córrego Vaca Brava; o ponto 15, a 40 m do córrego Buriti e, o ponto 43, a 513 m do lago dos Macacos. Foi observado nestes pontos a característica de possuir relevo Plano a Ondulado e, conforme destacado pela Defesa Civil a ocorrência de alagamentos da avenida.

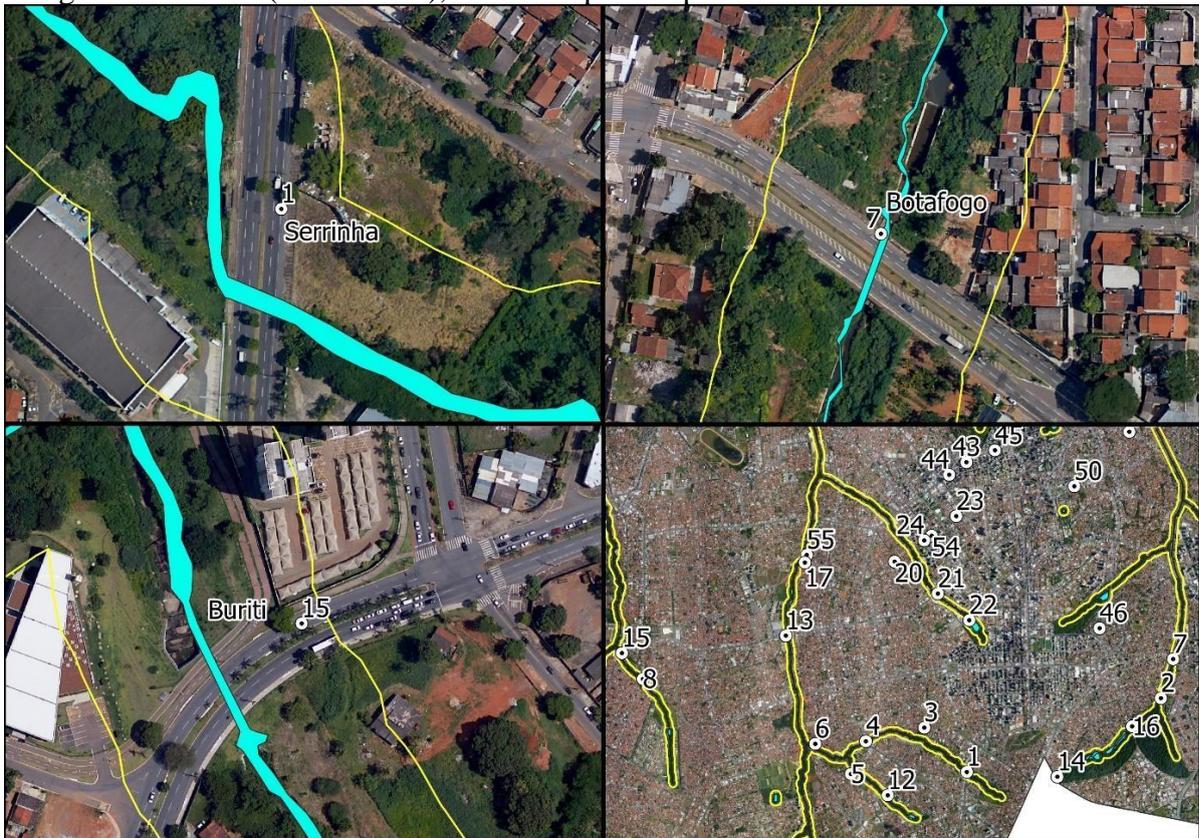
Na porção leste do município, onde estão situados os pontos 25, 41 e 49 observa-se que a vertente do relevo possui maior inclinação, sendo classificado como Ondulado a Forte-Ondulado. No entanto, estes pontos estão localizados às margens dos cursos d'água, sendo mais propícios aos fenômenos de inundação e alagamento, conforme registrado pela Defesa Civil.

Na porção norte, onde estão localizados os pontos 33, 34, 38 e 48 o relevo é classificado como Ondulado para Forte-Ondulado, porém, a impermeabilização causada pela urbanização pode ser um dos fatores que favorece a incidência de alagamentos (Figura 7). Essa característica

também foi evidenciada no perímetro urbano de Paracatu, em Minas Gerais por Rezende et al. (2017), os quais constataram que regiões com maiores riscos a inundações tem como características principais a urbanização acentuada, baixas declividades e relevo plano, já áreas de menores riscos se distribuem em relevos mais ondulados, áreas permeáveis e presença de vegetação.

As ocorrências de vítimas fatais foram observadas nos pontos: 1, com valor do TWI de 10,49, situado a 44 m do córrego Serrinha; 7, com ocorrência de duas vítimas fatais e valor do TWI de 9,42, situado a menos de um metro do córrego Botafogo e, ponto 15, com valor do TWI de 12,69, localizado a 40 m do córrego Buriti (Figura 8). A declividade destes pontos variou de Suave Ondulado para Ondulado. Foi evidenciado também que, nestes pontos ocorreram tanto alagamentos quanto inundações e enxurradas, como destacado pela Defesa Civil. Estes pontos estão próximos a corpos hídricos, já que se encontram dentro da área de APP, que por sua vez, não está devidamente preservada e possui área construída.

Figura 8. Ortofoto da área urbana do município de Goiânia para a ilustração dos pontos de alagamento e APP (em amarelo), com enfoque nos pontos com ocorrência de vítimas fatais.



Foram identificados 14 pontos com as mesmas características dos pontos em que ocorreram vítimas fatais. Neste sentido, destacam-se os pontos 2, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 55 e 57, os quais recomenda-se atenção especial devido à possibilidade de risco semelhante.

É importante salientar também que, a ocorrência de alagamentos e inundações pode ocasionar não somente em vítimas por acidentes. Ressaltam-se os problemas de saúde pública conforme mencionado por Dozsa, Monego & Kummer (2016), os quais identificaram a existência de uma dependência espacial de casos confirmados de leptospirose e alagamentos, em Curitiba, mostrando que áreas de alagamentos podem contribuir para a contrair a doença.

Os alagamentos também provocam danos econômicos, impedindo o crescimento potencial do PIB através da interrupção em sua cadeia de valor, nos danos a infraestrutura, podendo gerar redução no estoque de capital disponível, interrupções na infraestrutura de serviços e até desgastes para reconstrução e medidas de manutenção.

Utilizando ferramentas do SIG, Santos e Haddad (2014) projetaram impactos econômicos dos alagamentos em São Paulo no ano de 2008. Eles estimaram que os alagamentos favoreceram a redução do crescimento econômico da cidade no período de 2008 a 2012, e que as perdas potenciais médias da subprefeitura da Lapa podem ter atingido R\$ 89 milhões por ano.

Em uma análise de dados sobre danos materiais por desastres hidrológicos no Brasil, Minervino e Duarte (2016) argumentaram que de 2010 a 2014 os danos a unidades habitacionais por desastres hidrológicos foram de 194 bilhões de reais, prejuízo 2 vezes maiores que o valor investido para o Programa Minha Casa Minha Vida, que até outubro de 2014 foi de 89 bilhões de reais destinados para unidades habitacionais. Portanto, estes dados revelam a importância de políticas públicas voltadas para a prevenção de eventos desta natureza.

CONCLUSÃO

O Índice Topográfico de Umidade (TWI) pode ser utilizado para identificação de alagamentos e pontos de risco em áreas urbanas. Os pontos de alagamento e de vítimas fatais registrados pela Defesa Civil de Goiânia demonstram conformidade com os valores identificados no mapeamento do TWI.

Para condições físicas (geologia e topografia) e climatológicas de Goiânia (GO), os valores de TWI abaixo de 7, apresentam risco muito baixo de alagamento. Os valores entre 8 a 10 apresentam risco médio de alagamento, sendo os predominantes no município de Goiânia.

Os valores acima de 9,42 podem ser classificados como alto risco, com ocorrência de vítimas fatais.

Os pontos de alagamento de com ocorrência de vítimas fatais estão associados também com a proximidade de corpos hídricos e ausência do cumprimento da legislação ambiental referente às Áreas de Preservação Permanente.

Os setores de Goiânia com maior valor de TWI, os quais necessitam de maior atenção são: Setor Pedro Ludovico, Setor Oeste, Jardim Guanabara, Setor Aeroviário, Setor Dos Funcionários, Setor Aeroviário, Cidade Jardim, Setor Bueno, Vila Novo Horizonte, Setor Coimbra, Centro, Jardim Esmeralda, Campinas, Conjunto Caiçara, Jardim América, Jardim Presidente, Parque Amazonas, Bairro João Braz, Setor Novo Horizonte, Jardim Planalto, Setor Centro Oeste, Jardim Goiás e Setor Sul.

Pesquisas indicam que os desastres hidrológicos podem provocar prejuízos à infraestrutura urbana e unidades habitacionais na ordem de bilhões de reais. Nesse sentido, tendo em vista a potencialidade e praticidade do método, recomenda-se à sociedade civil e, principalmente ao poder público o emprego do TWI para identificação de áreas de risco a alagamentos para adoção de medidas estratégicas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis no 6.766, de 19 de dezembro de 1979, no 8.036, de 11 de maio de 1990, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a lei no 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências. Diário Oficial da União, 8 de janeiro de 2007. p. 3-7.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; ALVAREZ, J. W. R. R.; PELLEGRINI, A.; SHAEFER, G. L.; SANTOS, L. J. C.; SANTOS, D. R. dos. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo. **Geo Uerj**, [s.l.], n. 27, p.145-155, 2015.

CASTRO, A. L. C. de. Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. 5ª Ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional, 2002.

DEFESA CIVIL. **Planilha de pontos críticos de alagamentos**. Disponível em: http://estaticog1.globo.com/2018/01/30/2_PLANILHA_DE_PONTO_DE_ALAGAMENTOS_2.018--1.pdf/ Acesso em: 20 de maio de 2019.

DOZSA, B.; DEL MONEGO, M. L. C.; KUMMER, L. Modelagem geoestatística da ocorrência de casos de leptospirose e alagamentos no Município de Curitiba – Pr, no ano de 2014. **Holos**, [S.l.], v. 1, p. 381-393, fev. 2016. ISSN 1807-1600.

FELICIANO, C.D.; LOPES, L.M.; OLIVEIRA, I. J. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 34, n. 3, p.395-409, set./dez. 2009.

GIRÃO, L. F. O.; SIMÕES, N. E. C.; MARQUES, J. A. A. S.; LEITÃO, J. P. C.; PINA, R. D. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **EngSanitAmbient**, Coimbra, v.22, n. 2, mar./abr. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/goiania.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

LEITE, M.E.; ROCHA, A.M. Mapeamento da susceptibilidade à inundação em áreas urbanas: o caso da cidade de Montes Claros-MG. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 31, n. 62, p 125-150, jul./ago. 2016.

MINERVINO, A. C. e DUARTE, E. C. Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional. **Ciência & Saúde Coletiva**. 2016, v. 21, n. 3, pp. 685-694.

MORETON, L. C. Geologia. In: Texto Explicativo, **Folha SE 22 X-B-IV**, Goiânia. Brasília: PLGB, MME/DNPM /CPRM, 1994. p. 13-50.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de. Mapeamento do processo histórico de expansão urbana do município de Goiânia-GO. **GEOgraphia** - Ano. 17 - Nº 34 – 2015.

NASCIMENTO, D.; LIMA, L. V.; CRUZ, V. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO / Episodes and genesis of extreme climate events in Goiânia-GO. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 29, n. 57, p. 583-608, abr. 2019. ISSN 2318-2962.

RAMALHO, L. de S.; OLIVEIRA, E. S.; DOURADO, M. V. S. Utilização de técnicas de geoprocessamento para mapeamento de áreas susceptíveis à inundações e alagamentos na cidade de Formosa-Goiás. **Boletim de Geografia**, v. 35, n. 2, 2017.

Rego, T. L., e Barros, J. R. (2014). Alagamentos e inundações em Goiânia: uma análise a partir da imprensa local e dos registros da defesa civil. *Formação*, 1(21), 170-181.

Reis, P. A. D. **Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos**. Uberlândia –MG, 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de Modelo e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para Mapeamento de Risco a Inundação em Área Urbana. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61 p. 01-18, 2017.

ROMÃO, P. A. **Modelagem de terreno com base na morfometria e em sondagens geotécnicas - região de Goiânia, GO**. Brasília, 2006. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 121 f.

SANTOS, E. T. Dos; HADDAD, E. A.; mapeamento das perdas econômicas potenciais dos pontos de alagamento do município de São Paulo, 2008-2012. **Ambiente & Sociedade** n São Paulo v. XVII, n. 4 n p. 77-94 n out.- dez. 2014.

Recebido em 30 de setembro de 2020

Aceito em 01 de fevereiro de 2021

Publicado em 07 de maio de 2021