

**ANÁLISE DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS À ALAGAMENTOS E INUNDAÇÕES NA  
ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG UTILIZANDO  
GEOPROCESSAMENTO E O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA AHP**

Letícia Pena Goulart<sup>1</sup>

Jaqueline Vicente Matsuoka<sup>2</sup>

**RESUMO**

Os grandes centros urbanos sofrem frequentemente com alagamentos e inundações, devido à grande camada impermeabilizada pelo asfalto das ruas, concreto das edificações, falhas no dimensionamento das redes de drenagem pluvial, ocupação irregular de áreas próximas a rios, acúmulo de lixo, gerando grandes transtornos à população na época das chuvas. Olhando para esse cenário, o presente trabalho teve como objetivo unir técnicas e ferramentas de baixo custo para auxiliar a gestão pública em suas tarefas, amenizando resultados desastrosos das chuvas. A cidade de Uberlândia sofre com esses fenômenos naturais, por isso foi escolhida como área de estudo. Foram utilizados critérios com grande influência no escoamento, influenciando na ocorrência de alagamentos, como: índice de vegetação, declividade, densidade urbana, tipos de solo e uso e cobertura do solo, os mesmos receberam pesos de acordo com sua importância no processo, através do método AHP de Análise Hierárquica, assim como os subcritérios das classes envolvidas. Posteriormente, os mapas temáticos dos critérios e seus respectivos pesos foram submetidos a uma álgebra de mapas, resultando um mapa de risco de alagamentos e inundações. As áreas de risco mostradas no mapa são as mesmas áreas que sofrem com a ocorrência de alagamentos e inundações, segundo um levantamento feito com base em notícias e dados da defesa civil. A metodologia utilizada se mostrou ótima e precisa, mesmo utilizando critérios subjetivos como o conhecimento de especialistas, podendo ser realizada sem grandes problemas por equipes de gestores públicos de qualquer prefeitura auxiliando na tomada de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias, Alagamentos, Análise Hierárquica.

**ABSTRACT**

Large urban centers often suffer from flooding and inundation, due to the large waterproofing layer of the asphalt of the streets, concrete of buildings, failures in the dimensioning of rainwater drainage networks, irregular occupation of areas close to rivers, garbage accumulation, generating major disturbances to population in the rainy season. Looking at this scenario, the present work aimed to unite low-cost techniques and tools to assist public management in their tasks, mitigating disastrous results of the rains. The city of Uberlândia suffers from these natural phenomena, so it was chosen as the study area. Criteria with great influence on runoff were used, influencing the occurrence of flooding, such as: vegetation index, slope, urban density, soil types and land use and cover, they were weighted according to their importance in the process, through HPA method of Hierarchical Analysis, as well as the sub-criteria of the classes involved. Subsequently, the thematic maps of the criteria and their respective weights were subjected to a map algebra, resulting in a flood and flood risk map. The risk areas shown on the map are the same areas that suffer from the occurrence of floods and floods, according to a survey based on civil defense news and data. The methodology used

proved to be excellent and precise, even using subjective criteria such as the knowledge of specialists, and it can be carried out without major problems by teams of public managers from any city hall assisting in decision making.

**KEY- WORDS:** Geotechnology, Flooding, Hierarchical Analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

As ocorrências de inundações em áreas urbanas têm se tornado um problema frequente enfrentado em muitas cidades brasileiras. O aumento da população nas cidades intensificou a urbanização, gerando também o aumento da impermeabilização não planejada próximo às encostas dos rios, decorrente as facilidades que essa proximidade proporciona, tais como: abastecimento de água, atividades como agricultura, pecuária e indústria. Ao ocupar as várzeas e as planícies fluviais é comum o enfrentamento, por parte da população, de problemas como regime fluvial natural dos rios, onde se verifica a ocorrência de enchentes e inundações (GUASSELI; OLIVEIRA; ALVES, 2013).

As enchentes e inundações são fatos históricos que ocorrem desde antes da existência do homem da Terra, pois são fenômenos naturais que dependem do regime hídrico dos rios, assim como do regime pluvial de cada região. Cabe ressaltar que as enchentes consistem na elevação do nível dos cursos de água, podendo ou não causar inundações (GOERL; KOBIYAMA, 2005). Quando os rios se elevam até o limite do canal principal ou leito menor, caracteriza-se o evento como uma enchente. Já as inundações, ocorrem quando há o transbordamento das águas para as áreas adjacentes, atingindo edificações localizadas nas áreas sujeitas às inundações periódicas (GOERL; KOBIYAMA, 2005). Inundações em razão da urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento. Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica (TUCCI, 2008).

Como já dito, inundação é um fenômeno físico e natural, mas a intervenção humana com a expansão da urbanização e da indústria, afeta de forma direta, o aumento dos danos e a frequência com que têm ocorrido esses desastres. Os municípios localizados às margens de cursos de água sofrem uma série de impactos socioeconômicos quando os rios avançam sobre

as áreas com atividades antrópicas, causando danos em equipamentos públicos, paralisação de atividades econômicas, a contaminação por doenças de veiculação hídrica, perdas materiais e até humanas (GUASSELI; OLIVEIRA; ALVES, 2013).

No Brasil, a falta de ações preventivas sobre a ocupação de áreas de risco nos Planos Diretores Urbanos, de grande parte dos municípios, resultou em uma ocupação desordenada das áreas ribeirinhas pela população de baixa renda. Também cabe ressaltar, a ocupação das áreas de médio risco hidrológico, ou seja, aquelas áreas com um tempo de retorno maior dos fenômenos, porém com significativos prejuízos quando atingidos por eventos de magnitude maior (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995; OLIVEIRA, 2010).

Levando em conta tais problemáticas, o desenvolvimento de análises para prevenção de desastres ambientais está se tornando cada vez mais comum e necessário, com o intuito de diminuir os prejuízos causados por esse tipo de evento. Para isso, é necessário ter conhecimento sobre o histórico de inundações anteriores do município em questão, a modelagem digital do terreno, as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento.

A partir da interpretação de imagens de sensoriamento remoto, sejam elas obtidas através de satélites ou por aviões é possível, por exemplo, mapear áreas atingidas por diferentes desastres naturais, como deslizamentos, inundações, bem como o tipo de uso da terra na área, etc. Estas informações, associadas com modelos digitais de elevação, dados de chuva, vazão de rios, entre outros, podem ser integradas por meio de um SIG e do geoprocessamento, tornando possível a elaboração de mapas das áreas de risco de inundações, com destaque para as áreas com maior probabilidade de serem atingidas pelo fenômeno, servindo como subsídio para o planejamento dos usos da terra nos ambientes urbanos e rurais (FLORENZANO, 2002).

O termo geoprocessamento traduz a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e

ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Os autores concluem que, num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo.

A cidade de Uberlândia possui grande área impermeabilizada, somada a canalização dos córregos e a deficiência no sistema de drenagem, o que diminui sua área de infiltração. Por isso tem se tornado vulnerável a inundações com a ocorrência de precipitações concentradas, causando danos na infraestrutura da cidade, como: residências, comércios e principalmente, na segurança e bem estar de seus moradores. Com as novas tecnologias e as técnicas de geoprocessamento, é possível mapear as áreas de risco à inundação de maneira rápida e eficiente. O estudo de caso tem a pretensão de contribuir na abordagem preventiva para futuras decisões sobre o planejamento urbano, diminuindo os impactos socioambientais e econômicos causados pelas inundações.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal determinar as áreas susceptíveis à inundações e alagamentos na área urbana do município de Uberlândia, em Minas Gerais, o qual vem sofrendo muito com esse tipo de ocorrência, utilizando técnicas de geoprocessamento, análise de multicritério e álgebra de mapas.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar quais fatores contribuem para a geração da análise de risco de alagamento: como tipos de solo, declividade, altimetria, uso e cobertura do solo, áreas edificadas, vegetação, etc.;
- Selecionar as imagens de satélite, assim como os dados de altimetria do SRTM, as quais abrangem a área de estudo e realizar o mosaico, caso seja necessário;
- Gerar os planos de informação necessários e implementar o banco de dados geográficos;

- Gerar os fatores que contribuem para o risco de alagamentos com base nos planos de informação do banco de dados;
- Calcular a matriz de decisão e o autovetor de pesos utilizando o método AHP;
- Gerar o mapa de risco de alagamentos utilizando álgebra de mapas.

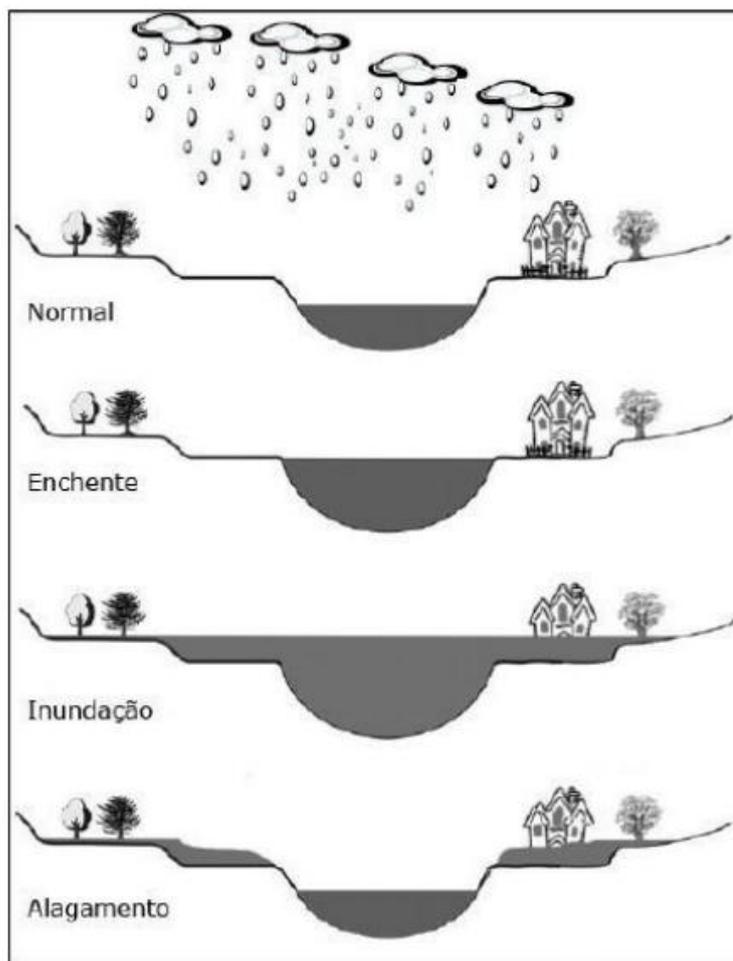
## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS**

Inundações, enchentes e alagamentos, embora muito comuns e noticiadas em períodos chuvosos, são termos peculiares e frequentemente descritos incorretamente. São conhecidos por seus efeitos e danos, porém há um desentendimento da população, dos órgãos públicos e até mesmo em meios científicos e técnicos a respeito de suas definições (LICCO; DOWELL, 2015).

Alagamento é o acúmulo de água nas ruas e nos perímetros urbanos, por problemas de drenagem, já a enchente é o aumento temporário do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém sem transbordamento e por fim, inundação é o transbordamento das águas de um canal de drenagem, atingindo as áreas marginais, de acordo com a Defesa Civil de São Bernardo do Campo (2015, apud LICCO; DOWELL, 2015). De acordo com a Figura 1, observa-se a diferença entre inundações, enchentes e alagamentos.

Figura 1 – Elevação do nível do rio provocada pelas chuvas e situação de alagamento



Fonte: Adaptado de Goerl e Kobiayma (2005) e Mendes (2005, apud Lohmann 2011).

Cançado (2009) classifica os danos causados por inundações como tangíveis e intangíveis, diretos ou indiretos. Os danos tangíveis são passíveis de mensuração em termos monetários, estimados por meio de preços de mercado; enquanto os danos intangíveis são associados a perdas como a vida humana, bens de valor histórico, arqueológico e objetos com valores sentimentais. Danos diretos são resultados do contato físico de bens e pessoas com a água de inundação, já os danos indiretos estão ligados a interrupções e perturbações das atividades sociais e econômicas.

Os desastres naturais, dentre eles as enchentes, alagamentos e inundações podem ser gerenciados. Isso não significa a sua eliminação, mas a compreensão de que os governos e a sociedade podem desenvolver mecanismos para evitar, diminuir ou mitigar os riscos envolvidos. E isso envolve o desenvolvimento de instituições e de instrumentos específicos, em termos de planejamento de ações, definição de procedimentos e definição de responsabilidades (LICCO; DOWELL, 2015, p. 171).

## 2.2 SIG E GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento pode ser considerado como um ramo de atividades, e pode ser definido como o conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, a fim de gerar novos dados e ou informações espaciais ou georreferenciadas (ZAIDAN; 2017, p.198).

Para Rosa (2005) o geoprocessamento é uma ferramenta formada por soluções em hardware e software, composto pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global e Topografia, possibilitando a análise de informação com referência geográfica.

O SIG foi definido por Antunes (2007) como um sistema operacional, ao qual se associa dados geográficos a um banco de dados, constituindo um ambiente propício para integração desses dados que são utilizados como suporte para tomada de decisão.

Já de acordo com Galvão (2014), os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), são ferramentas projetadas para “armazenar, processar e recuperar com rapidez e precisão grandes volumes de informações georreferenciadas”, permitindo com isso a localização de qualquer objeto da superfície terrestre por meio de um par de coordenadas.

Lisboa Filho e Iochpe (1996) mostram em um estudo que a utilização dos SIGs vem crescendo exponencialmente em todo o mundo, fato este que se dá devido à uma melhor situação de gerenciamento das informações em bancos de dados, com isso facilitando o apoio à decisão de problemas cotidianos complexos relacionados especialmente ao planejamento urbano e proteção do meio ambiente.

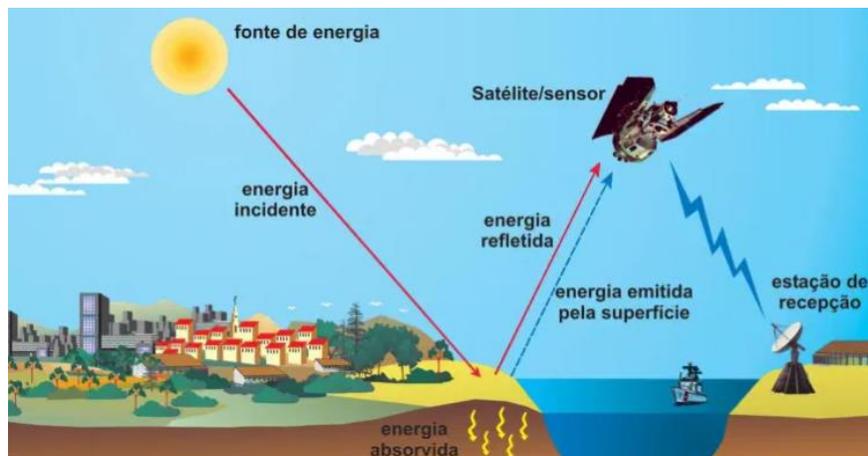
## 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto teve início na metade do século XIX, se desenvolvendo a partir de fotos tiradas por câmeras fixas em balões ou pombos correios. Desde então, satélites artificiais se tornaram fundamentais para os dias atuais e geram benefícios para áreas como a telecomunicação, previsão do tempo e clima, entre outras.

Para Florenzano (2002) sensoriamento remoto é a tecnologia que nos permite obter imagens e dados da superfície terrestre por meio da captação e registro de energia refletida ou emitida pela superfície. Para o autor, sensoriamento se refere à obtenção dos dados e remoto significa distância, sendo assim, sensoriamento remoto é a captura de dados a distância, sem contato físico entre a superfície terrestre e o sensor.

A partir de imagens de sensoriamento remoto obtidas por satélites ou aviões, é possível mapear áreas atingidas por fenômenos naturais, tais como deslizamentos e inundações. Com essas informações associadas a modelos digitais de elevação, dados de chuva, vazão de rios e etc., podem ser integrados por meio do SIG, sendo possível elaborar mapas das áreas de risco de inundações, segundo Florenzano (2002). De acordo com a Figura 2, observa-se como funciona a obtenção de imagens por sensoriamento remoto:

Figura 2 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2002).

O sensoriamento remoto tem se mostrado nos últimos anos uma ferramenta essencial para a gestão de risco de desastres naturais. O conhecimento sobre as características físicas e geométricas do terreno, a facilidade na identificação e monitoramento de ameaças que suas ferramentas proporcionam e a possibilidade de construção de cenários prováveis, que permitem identificar os dados sem que eles aconteçam, são apenas algumas das vantagens desta linha de estudo (MAKRAKIS, 2017, p. 39).

Existem diversos tipos de dados oriundos de diferentes satélites e sensores lançados na órbita terrestre, entre eles tem-se as imagens do satélite LANDSAT 8 e os dados altimétricos da missão SRTM da NASA.

De acordo com a NASA (2013) a série Landsat surgiu no final dos anos 60 como parte do Programa de Levantamento de Recursos Terrestres. Trata-se do programa de satélites de recursos terrestre mais antigo, operando ininterruptamente desde 1972 e disponibilizando imagens gratuitas desde 1973. Esse programa apresenta um importantíssimo acervo histórico de imagens orbitais.

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7 (COELHO; CORREA, 2013, p. 32).

As imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) vêm sendo disponibilizadas na Internet nos últimos anos, são imagens que fornecem a cota do terreno.

“A imagem SRTM é utilizada em trabalhos científicos como fonte de informações altimétricas de qualidade para escalas entre 1:100.000 e 1:250.000” (VALERIANO, 2008).

## 2.4 PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP

O Método de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - A.H.P.) é uma das abordagens mais utilizadas no mercado mundial e foi criado pelo americano Thomas L. Saaty na década de 1970. É uma metodologia matemática que visa ponderar quantitativamente as variáveis em função da interação dos critérios propostos na pesquisa e faz isso em forma de considerações qualitativas. Os pesos são obtidos através das comparações das variáveis que fazem parte do problema proposto. O AHP propõe a atribuição de pesos aos diferentes mapas de critérios a serem cruzados nos SIGs, assim como ponderar as diferentes classes pertencentes a cada mapa. Toda vez que pesos forem atribuídos a um mapa ou a uma classe temática, uma tomada de decisão está ocorrendo (RAFFO, 2012).

Segundo Gomes et al. (2003), é realizado por comparações par a par das alternativas em relação aos critérios. Após essas comparações, criam-se matrizes de decisão quadrada em que cada critério e alternativa são associadas a um valor de prioridade sobre as outras que estão sob análise, a partir de uma escala fundamental de preferências.

Para Gomes et al. (2002) esse paradigma reconhece a heterogeneidade das dimensões de desempenho pela utilização de múltiplos critérios que são escolhidos pelas exigências técnicas, inteligibilidade, aceitação como base do trabalho e facilidade de utilização como instrumento de análise.

Os pesos são atribuídos aos critérios de acordo com o grau de importância relativa entre eles, como mostra a Tabela 1. Os critérios são analisados e comparados aos pares, utilizando a escala de Saaty de números absolutos, os quais permitem atribuir valores numéricos quantitativos como qualitativos aos julgamentos (SAATY, 1970).

Tabela 1 – Escala de classificação elaborada por Saaty (1990).

<b>INTENSIDADE DA IMPORTÂNCIA</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>EXPLICAÇÃO</b>
<b>1</b>	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente ao objetivo final.
<b>3</b>	Menor importância de um sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
<b>5</b>	Essencial ou forte importância de um sobre o outro.	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
<b>7</b>	Importância significativa.	Uma atividade é fortemente favorecida e está dominância é demonstrada na prática
<b>9</b>	Importância absoluta.	A evidência favorecendo uma atividade em relação a outra é da ordem mais alta possível.
<b>2, 4, 6, 8</b>	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes.	Quando há necessidade de compromisso recíproco (diferentes de zero) se a atividade i tem os números acima atribuídos a ela quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i.

Fonte: Adaptado de Alves (2019).

O método converte as comparações em números, e estas comparações entre os critérios são registradas em uma matriz, como mostra a Tabela 2, em forma de fração entre 1/9 e 9. Cada matriz é analisada através do seu autovalor, para que seja avaliada a coerência dos seus julgamentos, a qual é denominada de razão de coerência, que será igual a 1, caso todos os julgamentos forem coerentes entre si.

Tabela 2 – Matriz de comparação aos pares

VARIÁVEIS	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Adaptado de Alves (2019).

O índice de consistência é calculado por meio da seguinte equação:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

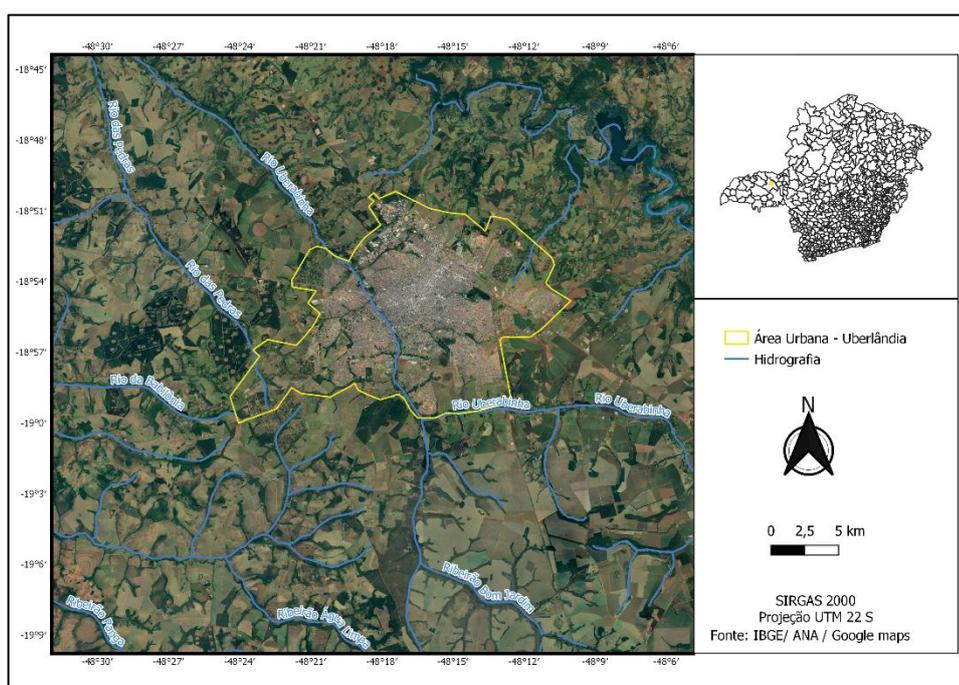
O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. Como regra geral, se o índice de consistência for menor que 0,1, existe consistência para prosseguir com os cálculos. Caso for mais que 0,1, recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

Primeiramente definiu-se a área de estudo para a realização do presente trabalho, a qual consiste na área urbana do município de Uberlândia, localizada no Triângulo Mineiro, interior do estado de Minas de Gerais. Sua população estimada segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi de 699.097 habitantes em 2020, possui área de 4.115,206 km<sup>2</sup> e a densidade demográfica de 146,78 hab/km<sup>2</sup>.

A Bacia Hidrográfica da qual o município faz parte é a Bacia do Rio Uberabinha, com extensão de 118 km, localizada no Triângulo Mineiro, nascendo em Uberaba, atravessando as cidades de Uberlândia e Tupaciguara e desaguando no Rio Araguari, como mostra na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Localização da área urbana do município de Uberlândia

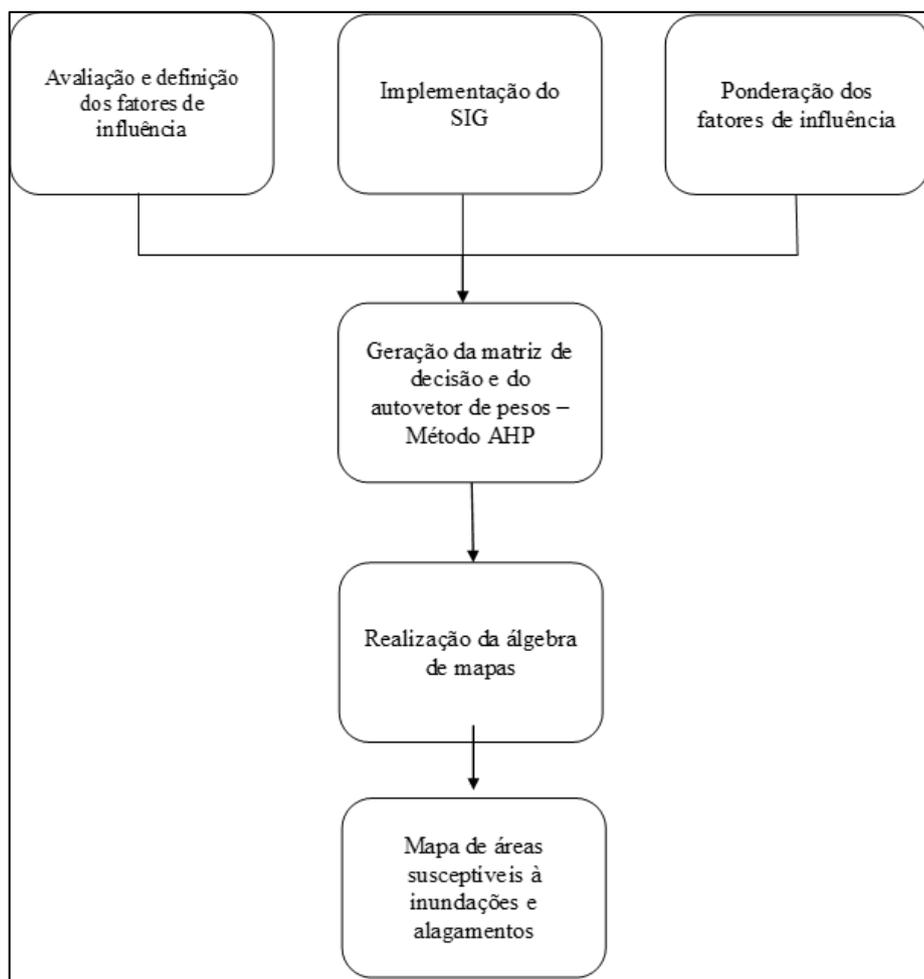


Fonte: A autora (2020).

A cidade sofre com recorrentes inundações em determinado período do ano, especificamente, entre novembro e março, os quais fazem parte da temporada de chuvas na região. Esses eventos de inundações e alagamentos se devem, além das ocorrências de chuvas intensas, também a fatores naturais como o relevo, hidrografia e fatores antrópicos como falta de planejamento urbano e crescimento desordenado nas encostas do Rio Uberabinha. Tais acontecimentos geram prejuízos financeiros e humanos, como desalojamento da população, destruição das infraestruturas como moradias, vias, pontes, praças, etc. e muitas vezes mortes pelos desastres.

Para que realização do trabalho o mesmo foi dividido em etapas, para que os objetivos propostos fossem alcançados com maior rapidez e organização. O fluxograma apresentado na Figura 4 resume as etapas que foram realizadas para obter o mapa de áreas susceptíveis a alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia.

Figura 4 – Fluxograma das etapas realizadas na obtenção do mapa de áreas susceptíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia



Fonte: A autora (2020).

Primeiramente realizou-se a avaliação dos fatores, os quais de acordo com as bibliografias e com especialistas no assunto, podem influenciar na ocorrência de alagamentos e inundações. De acordo com essa avaliação alguns dados foram definidos para serem utilizados como fatores.

Estes foram obtidos de fontes (órgãos públicos nacionais e internacionais) que tem a função de gerar, validar e disponibilizar gratuitamente tais dados, em escalas, sistema de coordenadas e resoluções compatíveis entre si e com o objetivo do trabalho, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Planos de informações

<b>DADO</b>	<b>TEMA</b>	<b>FONTE</b>	<b>ANO</b>	<b>ESC./RESOLUÇÃO</b>
Setor Censitário	Área Urbana	IBGE	2018	1:250.000
MNT / SRTM	Declividade	EMBRAPA Relevo	2020	30 m
Imagens LANDSAT 8	NDVI	USGS Earth Explorer	2020	30 m
Cobertura e Uso da terra	Cobertura	IBGE	2018	1:250.000
Faces de quadra	Densidade Urbana	IBGE	2018	1:250.000
Mapa de solos de MG	Solos	EMBRAPA Solos	2017	1:1.000.000

Fonte: A autora (2020).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO SIG E GERAÇÃO DOS MAPAS DE FATORES

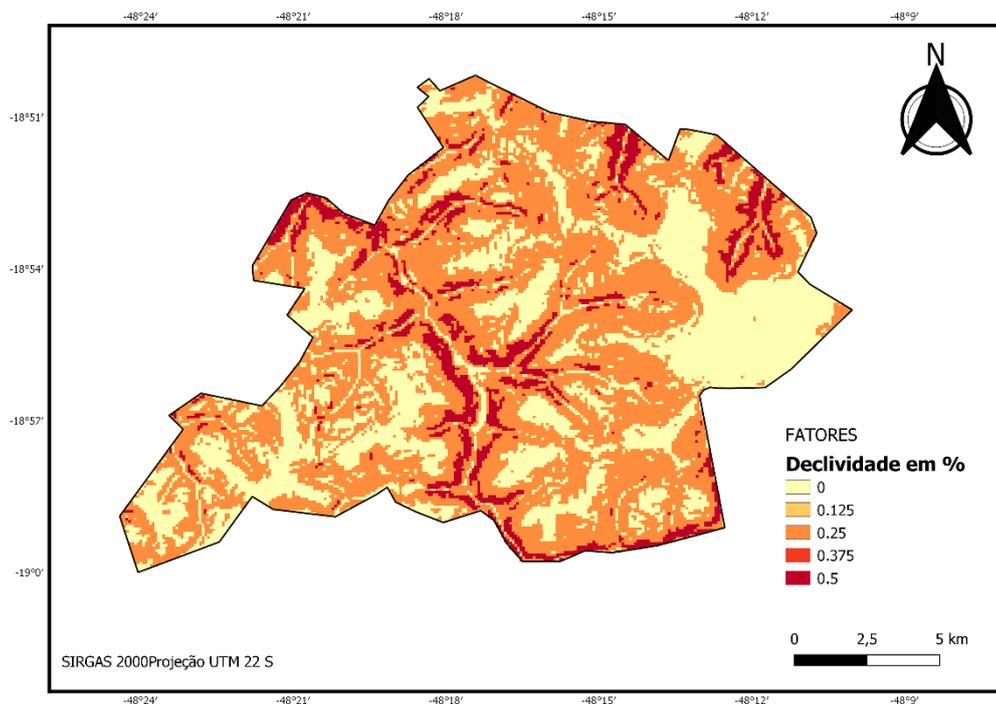
Posteriormente a aquisição dos dados, os mesmos foram inseridos no software QGIS 3.12, o qual é disponibilizado gratuitamente, para a implementação de um SIG.

Criou-se então um projeto, com sistema de referência com datum SIRGAS 2000 e projeção UTM 22, assim todos os dados a serem inseridos nesse projeto deveriam estar nesse sistema de coordenadas, para que os mesmos pudessem “casar” geograficamente, ou seja, caírem em suas respectivas localizações na superfície terrestre. Os dados que não estavam no referido sistema citados acima, passaram por uma transformação de coordenadas para que fossem colocados no mesmo.

Depois todas as camadas de dados, as quais abrangiam a área do Estado de Minas Gerais, foram recortadas, com base no arquivo shapefile da área urbana de Uberlândia, para que o mapa ficasse esteticamente mais limpo, objetivo e para poupar tempo durante os processamentos.

**FATOR DECLIVIDADE** - O mapa de declividade, como mostrado na Figura 5, foi gerado através de uma ferramenta do QGIS, com base na imagem de radar do SRTM. Posteriormente à geração da declividade, a mesma passou por um processo de normalização, onde os dados foram escalados entre 0 e 1, em seguida os valores nesse intervalo foram reclassificados em função da classificação sugerida pela EMBRAPA em porcentagem (0 – 3% PLANO; 3 – 8% - SUAVE ONDULADO; 8 – 20% ONDULADO; 20 – 45% FORTE ONDULADO; 45 – 75% MONTANHOSO e > 75% ESCARPADO).

Figura 5 – Mapa do Fator Declividade

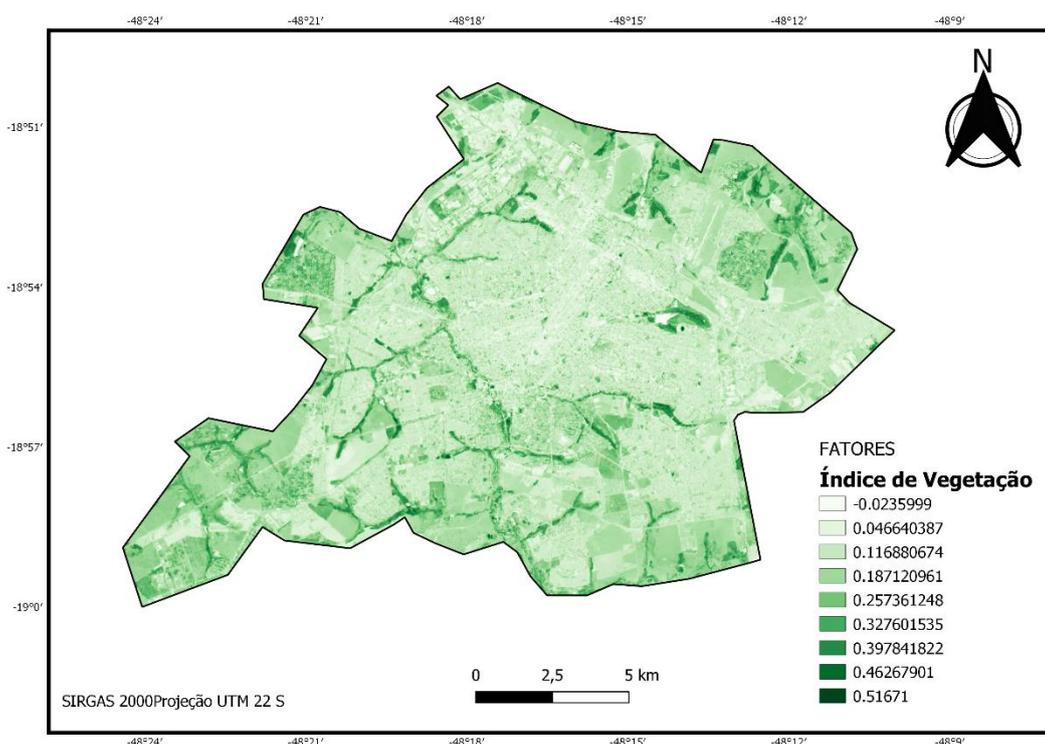


Fonte: A autora (2020).

**FATOR NDVI** – O mapa de NDVI, demonstrado na Figura 6, é um mapa do índice de vegetação diferença normalizada, o qual traz informações sobre a quantidade de vegetação existente em uma área basicamente. Esse índice já está normalizado e foi obtido por meio de uma álgebra de mapas utilizando as bandas do vermelho e infravermelho do satélite LANDSAT 8. Esse índice GETEC, v.10, n.34, p.21-44/2021

foi utilizado como fator, pois através dele é possível saber se uma área possui ou não vegetação e qual a sua densidade/ quantidade. Caso exista vegetação, supõe-se que essa área não esteja imperializada por concreto o asfalto, o que facilitaria a permeabilidade e o escoamento da água das chuvas.

Figura 6 – Mapa do Fator NDVI

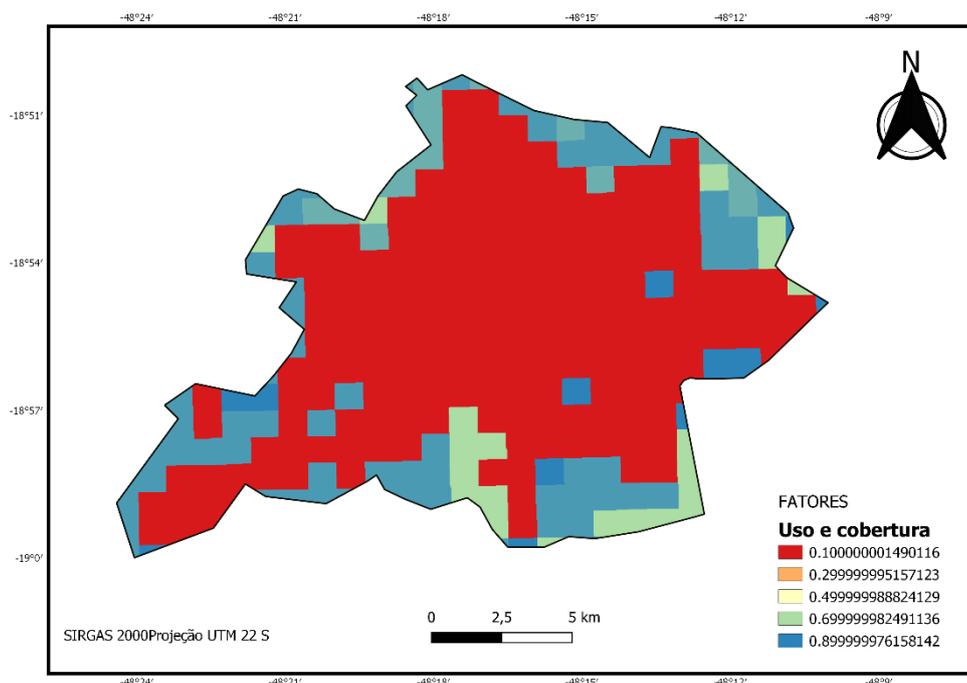


Fonte: A autora (2020).

FATOR COBERTURA – esse fator foi gerado com base no mapa de uso e cobertura do solo do estado de Minas Gerais do IBGE. Foram dados pesos para cada tipo de uso e cobertura de acordo com conhecimento de especialistas, não foram realizados cálculos de permeabilidade. Para a área urbana foram encontradas as seguintes classes (IBGE, 2020) e atribuídos os respectivos pesos: área artificial – 0,1; área agrícola – 0,9; pastagem com manejo – 0,85; mosaico de ocupações em área florestal – 0,8; silvicultura – 0,89 e mosaico de ocupação em área campestre – 0,7, quanto mais próximo de 0 menos permeáveis e quanto mais próximos de

1, mais permeáveis. Esses pesos, como já dito antes, foram dados com base na opinião de especialistas, o que deixa o processo um tanto subjetivo. Na Figura 7 está demonstrado o mapa do fator cobertura:

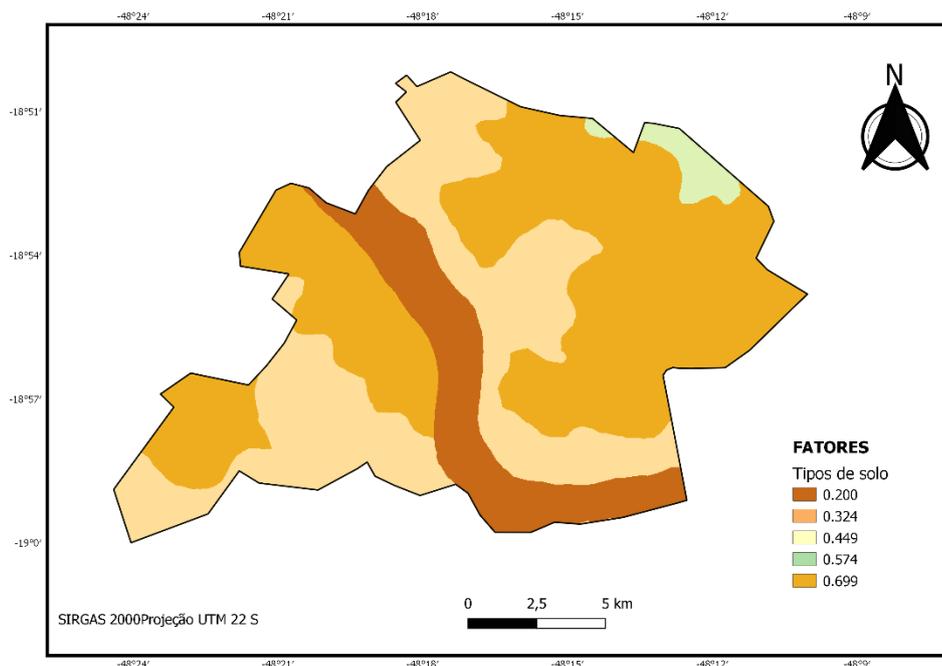
Figura 7 – Mapa do Fator Cobertura



Fonte: A autora (2020).

FATOR SOLO – tal fator, demonstrado na Figura 8, foi gerado com base no mapa de solos da EMBRAPA, onde para cada tipo de solo foi atribuído um peso, com base também na opinião de especialistas: latossolo vermelho amarelo – 0,4; latossolo vermelho escuro – 0,7; gelissolo pouco húmico – 0,2 e latossolo roxo – 0,5, sendo que quanto mais próximo de 0 menos permeável, quanto mais próximo de 1, mais permeável.

Figura 8 – Mapa do Fator Solo

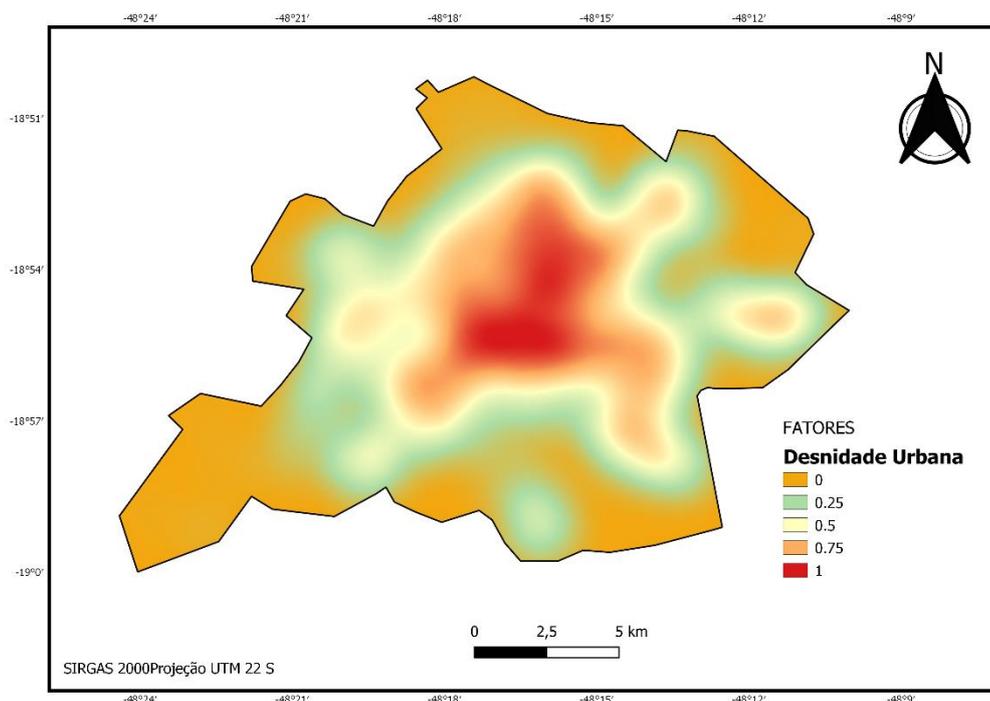


Fonte: A autora (2020).

FATOR DENSIDADE URBANA – o fator de densidade urbana foi gerado com base na camada shapefile de faces de quadra do IBGE. Com base nessa camada vetorial foi gerada uma camada de centroides, sendo que para cada quadra existente no arquivo gerou-se um centroide. Com base no arquivo de centroide gerou um mapa de calor ou mapa de Kernel. De forma simples, o Mapa de Kernel é uma alternativa para análise geográfica do comportamento de padrões. Nesse mapa é plotado, por meio de métodos de interpolação, a intensidade pontual de determinado fenômeno em toda a região de estudo. Assim, temos uma visão geral da intensidade do objeto em todas as regiões do mapa, como mostra a Figura 9. No caso, temos a intensidade ou a

densidade da ocorrência de edificações na área de estudo. Quanto maior a densidade de edificações, menos permeável o terreno, mais chances de alagamento e inundações.

Figura 9 – Mapa do Fator Densidade Urbana



Fonte: A autora (2020).

Todos os fatores que estavam no formato vetorial foram rasterizados para que esses pudessem ser utilizados na álgebra de mapas do QGIS.

#### 4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

O método AHP é um método criado para facilitar e avaliar critérios de forma hierárquica, comparando de forma homogênea os elementos.

Através do software QGIS 3.12.3, foram analisados e definidos os fatores de maior relevância para um estudo de caso de áreas susceptíveis à alagamentos e inundações na área urbana do município de Uberlândia, como descrito no item anterior. Através de uma calculadora do método AHP (AHP Calculator, 2020) foram calculados os pesos para cada um dos fatores, levando em conta a sua importância/influência para as ocorrências de alagamentos e inundações. A partir da Escala de Valores para Correlação Pré-definidos de 1 a 9, sendo o valor 1 equivalente a menor importância e o valor 9 a maior importância de um fator sobre o outro. Com base nessa escala obteve-se o resultado da Matriz de Decisão, mostrada pela Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Matriz de Decisão

<b>FATORES</b>	Declividade	Solo	Cobertura	NDVI	Densidade
Declividade	1	1	3	1	3
NDVI	1	1	2	2	2
Cobertura	0.33	0.50	1	0.50	1
Densidade	1	1	2	1	3
Solo	0.33	0.50	1	0.33	1

Fonte: A autora (2020).

De acordo com os valores apresentados na tabela 4 realizou-se o cálculo dos autovetores, ou seja, a normalização da Matriz de Decisão, obtendo-se os autovetores, mostrados na Tabela 5 e a Razão de Consistência (RC) igual a 0,7, indicando que as comparações feitas foram coerentes e chegaram a resultados confiáveis.

Tabela 5 – Autovetores

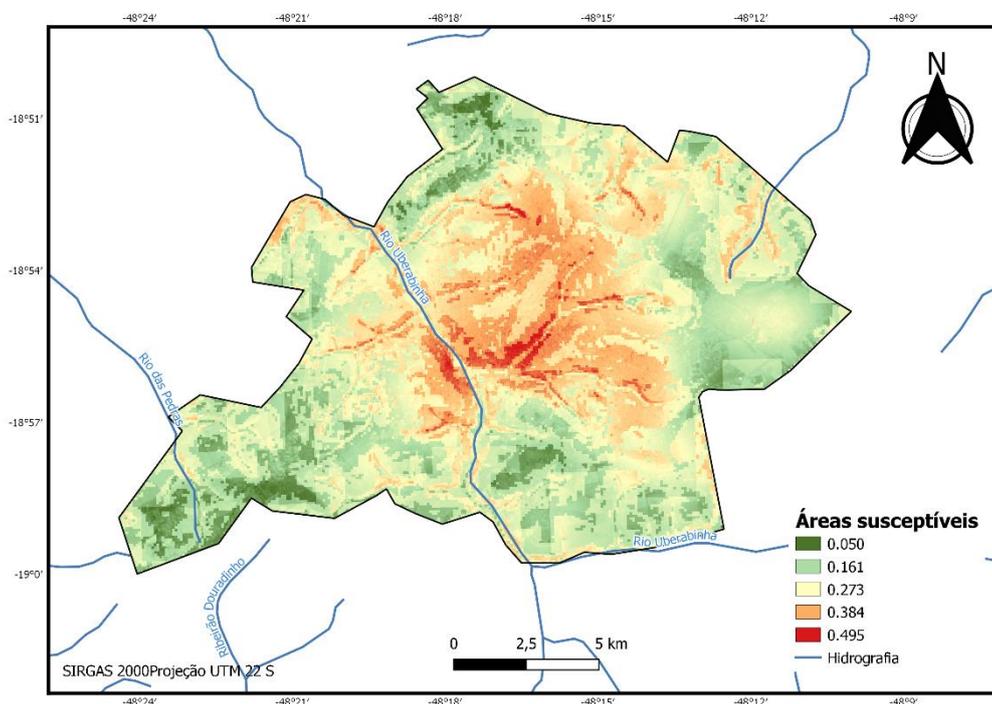
<b>FATORES</b>	<b>AUTOVETOR</b>
Declividade	0,3103448
NDVI	0,2758621
Cobertura	0,0689655
Densidade	0,2758621
Solo	0,0689655

Fonte: A autora (2020).

A partir dos pesos da Tabela 5 e dos mapas de fatores mostrados no item 3.2, foi realizada a álgebra de mapas, multiplicando cada um dos pesos pelos seus respectivos fatores, obtendo assim o mapa das áreas susceptíveis à alagamentos e inundações.

O mapa resultante obtido através da ponderação dos mapas de critérios e do cruzamento dos mesmos mostrou-se preciso quando comparado com o levantamento feito através dos noticiários sobre as áreas mais afetadas por inundações e alagamentos em Uberlândia, como observado nas Figuras 9 e 10 a seguir:

Figura 10 – Mapa das áreas susceptíveis a alagamentos e inundações da área urbana do município de Uberlândia



Fonte: A autora (2020).

As áreas propícias a alagamentos e inundações mostradas no mapa de risco, coincidem com a área de maior densidade urbana, a qual se mostra impermeável devido a maior concentração de edificações e asfaltamento.

## 5 CONCLUSÃO

O resultado obtido pelo método AHP juntamente com o geoprocessamento forneceu um material de fácil entendimento e uma visão geral da área de estudo abordada comprovando que as áreas com maiores registros de inundações e alagamentos, situados nos bairros: Bairro Brasil, Bairro Nossa Senhora Aparecida, Cazeca, Lídice, Santa Mônica, Daniel Fonseca, Bom Jesus, Martins, Tibery, Vigliato Pereira e Tubalina, fazem parte das áreas susceptíveis a esses desastres, como levantado.

A metodologia utilizada nesse trabalho, aliando análise hierárquica, geoprocessamento e a ponderação dos mapas temáticos, utilizados como critérios, mostrou-se altamente funcional e precisa, mesmo sendo, de certa forma, subjetiva por utilizar a opinião de especialistas. Tal metodologia utilizou dados e softwares disponibilizados gratuitamente, não gerando grandes custos, além de ser um o método simples e rápido, podendo ser utilizado para auxiliar o poder público na tomada de decisão em relação à prevenção de desastres maiores. Além disso, essa metodologia pode ser utilizada para gerar mapas com diferentes objetivos, como por exemplo, verificar áreas susceptíveis a escorregamento de terra ou desmoronamento, área aptas à criação de praças e parques, mapeamento de pontos para instalação de bacias de contenção, entre outros que auxiliem o poder público na tomada de várias decisões, para isso basta selecionar os critérios corretamente, assim como ponderar de forma coerente os mesmos.

Como sugestão para um trabalho futuro, acrescentar dados pluviométricos e de vazão do rio que corta a cidade, pois esses dois fatores com certeza influenciam muito o risco de alagamento, mas não puderam ser utilizados aqui, devido ao curto espaço de tempo para a realização de um trabalho de conclusão de curso.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. F. B. **Elementos de Cadastro Territorial Multifinalitário**. Cadastro técnico rural e urbano. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, 2017. Apostila. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~felipe/Apostila%202017\\_1%20edicao..pdf](https://docs.ufpr.br/~felipe/Apostila%202017_1%20edicao..pdf). Acesso em: 16 nov. 2020.

CALCULADORA DE PRIORIDADE AHP. Disponível em: <https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php>. Acesso em: 16 nov. 2020.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 03 de maio de 2020.

CANÇADO, V. L. **Consequências Econômicas das Inundações e Vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**. 2009. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/245D.PDF>. Acesso em: 10 abril 2020.

COELHO, A.L.N.; CORREA, W.S.C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia e Aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**. Vitória, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/2996/1733>. Acesso em: 02 nov. 2020.

EMBRAPA. **Brasil em Relevô**. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/mg/mg.htm>. Acesso em: 16 nov. 2020.

EMBRAPA. **Metadados: Mapa de solos do estado de Minas Gerais**. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev\\_mg\\_estado\\_solos\\_lat\\_long\\_wgs84\\_vt/metadata\\_read](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev_mg_estado_solos_lat_long_wgs84_vt/metadata_read). Acesso em: 16 nov. 2020.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Mosaico, 2002. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7d6QVLV0YkwJ:https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 02 ago. 2020.

GALVÃO, M. I. S. **Zoneamento de risco à inundação da área urbana de Porto Xavier/RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/112209/000954090.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 nov. 2020.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. Anais [...] Porto Alegre: ABRH, 2005.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, L. F. A. M.; GONZALEZ-ARAYA, M. C.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. Rio de Janeiro: Pioneira Thompson Learning. 2003.

GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R.C. M. **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013.

IBGE. **Bases e Referenciais**. Bases Cartográficas. Malhas Digitais. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acesso em: 16 nov. 2020.

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/uberlandia.html>. Acesso em: 16 nov. 2020.

KALAF, R., BRASILEIRO, R., CARDOSO, P. V., CRUZ, C.B.M. **Landsat 8: Avanços para mapeamento em mesoescala**. Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

LICCO, E.A.; DOWELL, S.F.M. Alagamentos, Enchentes, Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 5, nº 3, p. 160-174, 2015. Disponível em: [https://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/110\\_IC\\_artigo.pdf](https://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/12/110_IC_artigo.pdf). Acesso em: 10 jun. 2020.

LISBOA FILHO, J., IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados**. 1996. Apostila. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/sig-bd-jai.pdf>. Acesso em: 28 out. 2020.

LOHMANN, M. **Regressão Logística e Redes Neurais aplicadas à previsão probabilística de alagamentos no município de Curitiba, PR**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MAKRAKIS, M.C. **Mapeamento e Análise das Áreas Susceptíveis a Inundações do Município de Lages-SC**. 2017. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Especialização e Análise das áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. 2010. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do Espaço Geográfico. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 26-37, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53840/57803>. Acesso em: 12 out. 2020.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia, Uberlândia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 02 nov. 2020.

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, p. 9-26, 1970. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I). Acesso em: 10 jul. 2020.

SAATY, T. L. International Journal of Conflict Management. **The Analytic Hierarchy Process in Conflict Management**, v. 1, p. 47-68, 1990. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb022672/full/html>. Acesso em: 10 jul. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados. 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943>. Acesso em: 13 out.2020.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento Conceito e Definições. **Revista de Geografia**. Juiz de Fora, v. 7, n. 2, p. 196-201, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073/9359>. Acesso em: 08 jul. 2020.