



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A
INUNDAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG

BERNARDO LOPES VIEIRA VASCONCELOS

Belo Horizonte

2016

BERNARDO LOPES VIEIRA VASCONCELOS

USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A
INUNDAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Belo Horizonte

2016

VASCONCELOS, Bernardo Lopes Vieira.

S--

Uso de geoprocessamento para delimitação de áreas susceptíveis a inundação na Região Nordeste do município de Belo Horizonte/MG. - Registro: 2016.

60f; : il. ; --cm

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016

1. Identificação de áreas susceptíveis a inundação. 2. Geoprocessamento. I. Vasconcelos, Bernardo Lopes Vieira. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Uso de geoprocessamento para delimitação de áreas susceptíveis a inundação na Região Nordeste do município de Belo Horizonte/MG.



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
 Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
 AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ATA DE DEFESA FINAL
 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

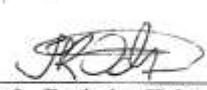
Aos vinte e oito dias do mês de novembro de 2016, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho, Frederico Keizo Odan e Cristiane Nobre Prudente, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado *"USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE/MG"* de autoria do(a) aluno BERNARDO LOPES VIEIRA VASCONCELOS, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 28 de Novembro de 2016.

Banca Examinadora:


 Prof. Orientador Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho


 Prof. Frederico Keizo Odan


 Prof. Cristiane Nobre Prudente

COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
 CAMPUS I - Av. Amazonas, 5253 - Cep: 30421-169 - Bairro Nova Suíça - Belo Horizonte - MG
 TELEFAX: (31) 3319-7153 - coordmateriais@des.cefetmg.br - www.gradmat.cefetmg.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus.

Aos meus pais, pois sem eles não teria chegado a esta etapa de minha vida, e por sempre acreditarem em mim.

A toda minha família e amigos por sempre estarem presentes nos momentos importantes.

Ao meu professor orientador Carlos Wagner pelo incentivo, animação e apoio de sempre.

Aos meus colegas de CEFET-MG pelas risadas, momentos difíceis e companhia de sempre.

Aos professores que contribuíram ao longo de toda essa jornada.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

A recente intensificação na busca da população por uma melhor qualidade de vida nas cidades gera uma urbanização muitas vezes desacompanhada do adequado planejamento. Isto provoca diversas ocorrências negativas à vida urbana, entre elas a ocorrência de inundações. As inundações urbanas estão relacionadas principalmente com a impermeabilização do solo, através de construção de ruas, calçadas, telhados, entre outros. Uma cidade que sofre bastante com as inundações é Belo Horizonte/MG. Desta forma, este trabalho tem como objetivo identificar áreas susceptíveis a inundações na Região Nordeste do município de Belo Horizonte, por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento. Essa região foi escolhida por já ser uma área conhecida da cidade pelos problemas e prejuízos causados pelas inundações em dias de precipitação intensa. Para obter o mapa de inundações da Região Nordeste, foram criados, através da utilização de programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica), três mapas intermediários de inundações, considerando a altimetria, a declividade e o uso do solo. Eles foram reclassificados utilizando pesos e, por meio do Método AHP (Processo Analítico Hierárquico) e a utilização de álgebra de mapas, as informações contidas nesses três mapas intermediários geraram o mapa final de susceptibilidade a inundações. Analisando este mapa, pode-se perceber que 6,5% da área de estudo foi classificada como Risco Elevado e 20,1% como Risco Alto. Foi possível também perceber que algumas manchas de inundações acompanham duas avenidas da cidade, já conhecidas pelos problemas e prejuízos com inundações. Depoimentos de frequentadores e moradores das regiões identificados com maior risco de inundações foram ouvidos e uma busca nos jornais locais foi realizada a fim de validar os resultados obtidos através do mapa produzido, que confirmaram a ocorrência de grandes inundações nessas áreas, incluindo prejuízos e mortes. Conclui-se que o mapa de susceptibilidade a inundações apresentado consistiu-se em uma alternativa efetiva para mapear inundações e auxiliar na prevenção e mitigação a esses eventos, bem como contribuir para o planejamento urbano. Verifica-se, portanto, e que o geoprocessamento possui grandes possibilidades de uso na Engenharia Ambiental e Sanitária.

Palavras-chave: inundações, geoprocessamento, método AHP, Belo Horizonte/MG.

ABSTRACT

The recent intensification in the search of the population for a better quality of life in the cities generates an urbanization that is often unaccompanied by an adequate planning. This causes several negative occurrences to urban life, among them the occurrence of floods. The urban floods are mainly related to the waterproofing of the soil, through the construction of streets, sidewalks, roofs, and others. A city that suffers greatly from the floods is Belo Horizonte/MG. Therefore, this work aims to identify areas susceptible to flooding in the Northeast of the city of Belo Horizonte, through the use of geoprocessing techniques. This region was chosen because it is already an area known to the city for the problems and damages caused by the floods in days of intense precipitation. In order to obtain the flood map of the Northeast Region, three intermediate flood maps were created using GIS (Geographic Information System) software, considering altimetry, slope and land use. They were reclassified using weights and, using the AHP (Hierarchical Analytical Process) method and the use of map algebra, the information contained in these three intermediate maps generated the final map of flood susceptibility. Analyzing this map, it can be seen that 6.5% of the study area was classified as Very High Risk and 20.1% as High Risk. It was also possible to notice that some flood spots accompany two avenues of the city, already known for the problems and damages with flood. Testimonials from people who frequent and residents of the regions identified as having the greatest risk of flooding were heard and a search in the local newspapers was conducted to validate the results obtained through the map produced, which confirmed the occurrence of great floods in these areas, including damages and deaths. It is concluded that the flood susceptibility map presented consisted of an effective alternative to map floods and help in the prevention and mitigation of these events, as well as contributing to urban planning. Therefore, it is verified that geoprocessing has great possibilities of use in Environmental and Sanitary Engineering.

Keywords: flood, geoprocessing, AHP method, Belo Horizonte/MG.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Características dos leitos dos rios.....	17
FIGURA 2 - Hidrograma hipotético de uma bacia hidrográfica mostrando o impacto da urbanização.....	17
FIGURA 3 - Série histórica de inundações e precipitações médias mensais no município de Belo Horizonte/MG	20
FIGURA 4 - Evolução populacional x ocorrências de inundações no município de Belo Horizonte/MG.....	20
FIGURA 5- Gráfico com temperaturas históricas médias mensais de Belo Horizonte/MG....	21
FIGURA 6 - Gráfico com precipitação histórica média mensal de Belo Horizonte/MG.....	22
FIGURA 7 - Matriz de comparação do Método AHP.....	25
FIGURA 8 - Diagrama de blocos com as etapas da metodologia utilizada no trabalho	27
FIGURA 9 - Região Nordeste de Belo Horizonte	28
FIGURA 10 - Relevo da Região Nordeste de Belo Horizonte.....	29
FIGURA 11 - Mapa de susceptibilidade a inundações da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à altimetria	41
FIGURA 12 - Mapa de susceptibilidade a inundações da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à declividade	42
FIGURA 13 - Mapa de susceptibilidade a inundações da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto ao uso do solo	44
FIGURA 14 - Mapa de susceptibilidade a inundações da Região Nordeste de Belo Horizonte	46
FIGURA 15 – Foto de um trecho da Avenida Bernardo Vasconcelos.....	48
FIGURA 16 - Aviso da Prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos aos motoristas em caso de chuva forte	48
FIGURA 17 - Aviso da prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos para que motoristas evitem estacionar no local em caso de chuva forte	49
FIGURA 18 - Aviso da prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos para tentar evitar inundações.....	49
FIGURA 19 - Córrego Cachoeirinha na Avenida Bernardo Vasconcelos	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de comparação pareada de fatores	25
Tabela 2 - Matriz de determinação dos pesos.....	25
Tabela 3 - Peso para cada intervalo de cota da área de estudo	32
Tabela 4 - Classificação de Relevo do IBGE	34
Tabela 5 - Reclassificação dos valores de declividade.....	34
Tabela 6 - Peso para cada tipo de relevo	35
Tabela 7 - Matriz de comparação dos fatores e atribuição dos pesos	37
Tabela 8 - Reclassificação do mapa geral de susceptibilidade a inundação.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process* - Processo Analítico Hierárquico

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NGA - *National Geospatial-Intelligence Agency*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* - Missão Topográfica Radar Shuttle

Sudecap - Superintendência de Desenvolvimento da Capital

TIN - *Triangulated Irregular Network* - Rede Triangular Irregular

USGS - *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Considerações Iniciais	12
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	Urbanização	15
2.2	Enchentes e inundações urbanas.....	16
2.3	Inundações em Belo Horizonte.....	19
2.4	Condicionantes climáticas de Belo Horizonte/MG	21
2.5	Geoprocessamento.....	23
2.6	Método AHP.....	24
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	Realização da revisão bibliográfica	28
3.2	Escolha da área de estudos	28
3.3	Obtenção de dados.....	29
3.4	Tratamento dos dados.....	30
3.5	Elaboração dos mapas intermediários	31
3.5.1	Mapa de susceptibilidade a inundações quanto à altimetria	32
3.5.2	Mapa de susceptibilidade a inundações quanto à declividade	33
3.5.3	Mapa de susceptibilidade a inundações quanto ao uso do solo	36
3.6	Elaboração do mapa geral de susceptibilidade a inundações.....	37
3.7	Verificação das ocorrências de inundações na Região Nordeste de Belo Horizonte	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5	CONCLUSÕES.....	55
6	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	56
7	BIBLIOGRAFIA	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Nos últimos anos se acentuaram consideravelmente as preocupações da população em relação à busca por uma melhor qualidade de vida nas cidades. Entretanto, essa procura por uma melhor qualidade de vida vem ocorrendo sem o planejamento apropriado, o que acarreta em diversos problemas para a vida urbana, como, por exemplo, aumento excessivo do tráfego de veículos, sobrecarga do transporte urbano, ocorrência de enchentes, além de diversos tipos de poluição, como atmosférica, visual e dos recursos hídricos (MORAES, 2010).

Chaves e Peixoto Filho (2015) expressam que o crescimento demográfico associado à procura pelo aumento da qualidade de vida tem contribuído na formação de centros de atração populacional. Esses centros propendem a ser lugares que passam a ofertar novas oportunidades e condições mais satisfatórias de vida.

No Brasil, nos séculos XVIII e XIX, ocorreu uma imigração em massa, principalmente devido à atração pela exploração mineral. Esse foi o período da urbanização do tipo pré-industrial. Já no início do século XX, houve um segundo momento na industrialização, quando certas cidades e regiões congregavam um vasto número de atividades industriais e imigrantes, em maior parte de origem rural. As cidades Rio de Janeiro e São Paulo transformaram-se em polos regionais, atraindo milhões de imigrantes por diversas décadas. Posteriormente, a partir de 1980, houve um espalhamento da população pelo país e investimentos em cidades de porte médio em várias regiões do (Brandão, 1978; Cano, 1985; Matos, 2012).

Essa migração em massa é bastante preocupante, já que há uma exclusão social concebida pelo crescimento horizontal das cidades em periferias desprovidas de implementos urbanos e comunitários. Outro problema observado é que, no desenvolvimento da urbanização, ocorrem a valorização de áreas ricas e a especulação imobiliária, ocasionando a verticalização dos edifícios, o parcelamento do solo e, conseqüentemente, a sobrecarga das infraestruturas urbanas já implantadas (MORAES, 2010).

Um dos problemas oriundos da urbanização, as inundações urbanas ocorrem no momento em que a água dos riachos, rios ou galerias pluviais saem do seu leito natural de escoamento e alastra-se em espaços em que a população utiliza para habitação, ruas, calçadas, lazer, comércio, entre outros. Estas ocorrências se agravam em decorrência da alteração do

espaço urbano realizada pelo homem, como impermeabilização do solo e canalização dos cursos d'água (TUCCI, 2003).

Portanto, as áreas ribeirinhas que o escoamento é capaz de atingir, por mais que ocorra com pequena frequência, são consideradas de risco e, quando ocupadas pela população, são capazes de causar os maiores impactos gerados pela inundação. A ocupação dessas áreas é muito utilizada por famílias de renda menor (TUCCI, 2008).

O geoprocessamento é uma ferramenta muito útil que pode auxiliar na identificação das áreas susceptíveis a inundação, incluindo em áreas urbanas, e auxiliar na tomada de decisão visando solucionar esses problemas (MENDES; CIRILO, 2001).

1.2 Justificativa

O presente trabalho tem como relevância a problemática das inundações recorrentes principalmente nos ambientes urbanos.

O crescimento populacional, juntamente com a busca por uma melhoria na qualidade de vida, gera a urbanização nas cidades (CHAVES e PEIXOTO FILHO, 2015). Todavia, diversas vezes essa urbanização ocorre de modo rápido e sem planejamento, ocasionando a ocupação de áreas de risco que acabam ameaçando a segurança da população. Portanto, a ocupação de áreas irregulares sem o devido planejamento pode intensificar a ocorrência de eventos de inundação. Além disso, fatores naturais do local ou região, como altimetria e declividade, também influenciam consideravelmente na ocorrência de tais eventos (TUCCI, 2009).

Este trabalho pretende, portanto, contribuir no auxílio à identificação de áreas de maior possibilidade de ocorrência de inundações, levando em consideração o relevo da região e também o histórico de ocorrência.

Os resultados de trabalhos como este são de extrema importância para a gestão de um município e, principalmente, evitar grandes desastres e tragédias, que podem ir desde perdas materiais de diversos níveis até ferimentos e mortes tanto da população local, como de pessoas que transitam pela área. Por exemplo, com a identificação de áreas de maior susceptibilidade a inundação é possível direcionar o foco das obras de drenagem do município para a região e a instalação de placas no local, sugerindo que a população evite trafegar no local em caso de eventos de chuva de maior intensidade, seja de carro ou a pé.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar áreas susceptíveis a inundação na Região Nordeste do município de Belo Horizonte/MG, através da utilização de técnicas de geoprocessamento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Associar a contribuição dos fatores altimetria, declividade e uso do solo para a ocorrência de eventos de inundação;
- ✓ Avaliar o geoprocessamento como ferramenta de gerenciamento de áreas de risco;
- ✓ Verificar ocorrência de eventos de inundação (de forma esporádica ou frequente) por meio de notícias na mídia e informações de moradores locais, e comparar com áreas identificadas neste trabalho;
- ✓ Visitar locais identificados como susceptíveis a inundação para verificar suas particularidades;
- ✓ Apresentar propostas de soluções para as áreas identificadas como inundáveis no estudo;
- ✓ Mapear áreas de inundação na região estudada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir são apresentados alguns conceitos que serão utilizados no desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. São apresentados conceitos de urbanização, enchentes e inundações urbanas, inundações em Belo Horizonte/MG, condicionantes climáticas de Belo Horizonte/MG, geoprocessamento e Método AHP.

2.1 Urbanização

Nas décadas mais recentes a preocupação relativa à qualidade de vida nas cidades têm se intensificado bastante, considerando-se que a concentração populacional, sem o adequado planejamento, vem gerando diversos efeitos negativos à vida urbana, como, por exemplo, tráfego intenso de veículos, sobrecarga do transporte urbano, diversos tipos de poluição (por exemplo, atmosférica, hídrica, sonora e visual) e inundações (MORAES, 2010).

Segundo Sobral (1996), esse crescimento populacional desordenado preocupa bastante países menos desenvolvidos, gerando desafios para a gestão ambiental das suas cidades. Nesses casos, a população acaba se acumulando em espaços cada vez mais limitados por haver menos investimentos que geram empregos em outros locais do território. Desta forma, as cidades, por não possuírem muitos recursos para investimentos que possam solucionar esses problemas, acabam não suportando esse processo de urbanização desenfreado.

Catástrofes ambientais em áreas urbanas provocadas por fenômenos naturais têm tido sua ocorrência intensificada à medida que a urbanização se intensifica. Desastres naturais, como terremotos, furacões, chuvas intensas, tsunamis e secas prolongadas, entre outros, aparentam possuir consequências cada vez maiores e mais graves à medida que as cidades se ampliam e se adensam, e a população urbana aumenta (JATOBÁ, 2011).

Portanto, as mudanças climáticas e a urbanização crescente são dois fenômenos relacionados que, quando ocorrem de forma conjunta, possuem suas consequências potencializadas. Esses assuntos têm sido tratados com frequência cada vez maior em congressos e seminários, sendo razão de grande interesse científico e atenção de diversos órgãos ao redor do mundo. Além disso, é tema cada vez mais rotineiro na imprensa, principalmente em toda nova tragédia associada a perdas materiais e de vidas humanas devido à ocorrência de desastres naturais (CHAVES, 2015)

O meio ambiente e a urbanização possuem uma relação direta. A urbanização, por causar um aumento na concentração de pessoas e serviços produtivos em um espaço limitado, acarreta, impactos negativos ao meio ambiente com efeitos incessantes. Apesar de que outras atividades, como, por exemplo, a pecuária, a agricultura e a mineração, também gerarem impactos degradantes ao meio ambiente em grande proporção, a urbanização merece uma atenção especial pelo fato de gerar seus impactos ambientais de forma concentrada e expandi-los além dos limites urbanos (JATOBÁ, 2011).

Desta forma, a urbanização desordenada, principalmente aliada a fatores naturais como altimetria e declividade, pode provocar ocorrência de eventos de inundação no meio urbano associados a eventos de chuva intensa (TUCCI, 2009).

2.2 Enchentes e inundações urbanas

Através do significativo crescimento da população urbana ao longo das últimas décadas, foram criados diversos centros de atração populacional (CHAVES, 2015). O crescimento populacional nesses centros, gera uma sobrecarga e mau uso do aparelhamento urbano em relação aos recursos hídricos, principalmente quanto ao abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem pluvial, entre outros (TUCCI, 1995). Isso se deve, muitas vezes, ao fato de que o planejamento dos centros urbanos não acompanhou o crescimento populacional.

Desta forma, também podem ocorrer enchentes em áreas urbanas. Essas enchentes são consequência de dois processos, que podem ocorrer de forma isolada ou integrada: enchentes em áreas ribeirinhas e enchentes devido à urbanização (TUCCI, 1995).

As inundações ribeirinhas também podem ocorrer nos meios urbanos. Como ilustrado na FIGURA 1, os rios costumam ter dois leitos: o leito menor, em que a água permanece escoando pela maior parte do tempo, e o leito maior, que é atingido quando o escoamento alcança alturas superiores ao leito menor, causando as inundações. Essas áreas dos leitos dos rios são consideradas de risco e, quando ocupadas pela população, causam os maiores impactos gerados pela inundação. Essas situações ocorrem devido a alguns fatos, como a ausência de restrição relativa à ocupação dos locais de risco de inundação no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano dos municípios, a invasão de áreas ribeirinhas pelos moradores de renda menor, e ocupações de risco médio, em que os eventos de inundações não são muito comuns, mas quando ocorrem, os danos são expressivos (TUCCI, 2008).

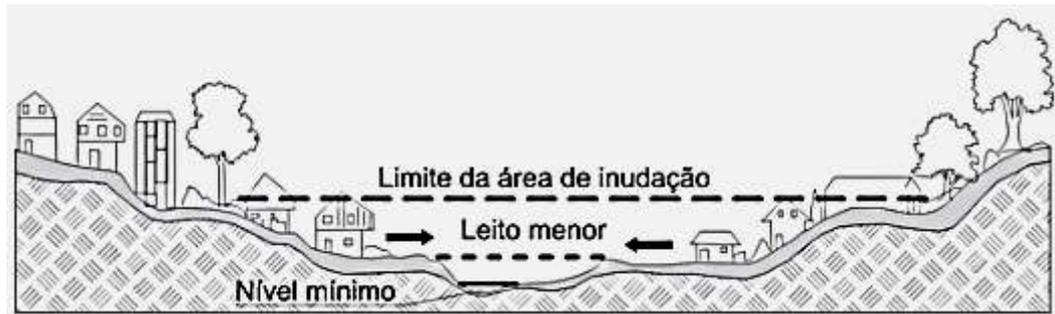


FIGURA 1 - Características dos leitos dos rios

Fonte: TUCCI, 2008.

Já as enchentes devido à urbanização se relacionam com a impermeabilização do solo devido ao desenvolvimento urbano, através de ruas, calçadas, telhados, pátios, estacionamentos, entre outros. Isso faz com que a água, que antes era infiltrada na superfície, passe a escoar pela superfície impermeabilizada, aumentando assim o escoamento superficial (TUCCI, 1995). A FIGURA 2 apresenta dois hidrogramas hipotéticos típicos de uma bacia hidrográfica comum, um para uma bacia natural e outro resultante do processo de urbanização. Pode-se observar o aumento do volume do escoamento superficial, a antecipação do pico de vazão e o aumento da vazão máxima no hidrograma da área urbanizada em relação ao hidrograma da área não urbanizada.

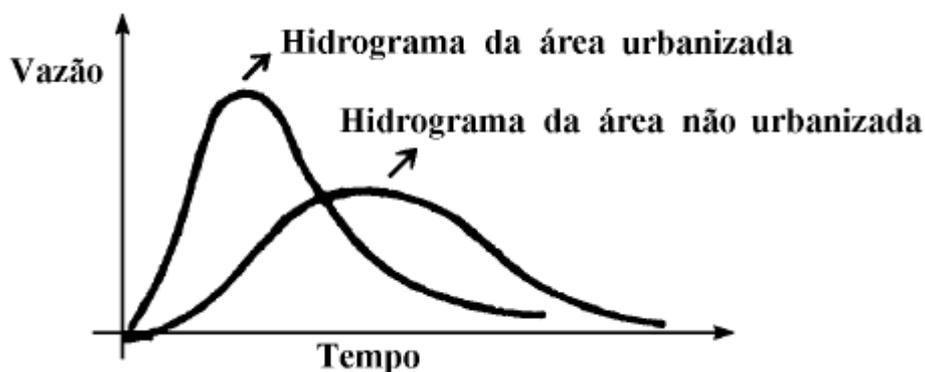


FIGURA 2 - Hidrograma hipotético de uma bacia hidrográfica mostrando o impacto da urbanização

Fonte: TUCCI, 1995.

Para explicar a diferença entre enchente e inundação, Pinheiro (2007) define enchente como um fenômeno natural que acontece em cursos d'água, seja em regiões urbanas ou rurais. Ela constitui-se na elevação dos níveis de um curso d'água, de pequeno ou grande porte, que pode causar inundações, isto é, o transbordamento de água do canal principal. É importante

ressaltar que todo rio passa pelo fenômeno da enchente e ele possui sua área natural de inundação. Portanto esse fenômeno não necessariamente significará a ocorrência de uma catástrofe.

Enchente está presente, no ciclo da água na natureza e, desta forma, é um fenômeno natural, no qual suas consequências apenas causarão danos e prejuízos, quando seus efeitos afetarem o bem estar da sociedade (PROJETO PLANÁGUA, 2001).

Todavia quando o homem ultrapassa os limites naturais do meio em que vive, as inundações podem passar a ser um problema social, ambiental ou econômico. Quando a área inundável não apresenta uma ocupação adequada, por exemplo, através da construção de residências nas áreas ribeirinhas, a inundação pode passar a ser um evento catastrófico. Alguns dos fatores que podem potencializar a ocorrência de enchentes são excesso de chuvas extremas em um curto período de tempo ou uma obstrução que possa impedir a passagem da vazão de enchente, como, por exemplo, um bueiro entupido ou subdimensionado (PINHEIRO, 2007).

Ahmed *et al.* (2013) citam o caso da cidade de Hyderabad, na Índia, com cerca de 6,8 milhões de habitantes. Os autores citam que a cidade sofre frequentemente com casos de inundação, principalmente devido ao alto índice de chuva concentrado entre os meses de junho a setembro (em média 590 mm, dos 787 mm médios anuais), e ao fato do rio Musi constantemente alagar.

Alguns relevantes eventos de chuva extrema foram registrados, causando inundação e muitos estragos para a cidade, além de diversas mortes, como uma chuva de 190,5 mm em 1º de agosto de 1954, uma de 240 mm em 24 de agosto de 2000 e um período de 36 horas em 2008 em que foi registrada uma chuva de 220,7 mm. Todavia, o caso mais grave foi a chuva de 153,2 mm em 1908, em que 15 mil pessoas morreram e mais de 80 mil perderam suas casas (AHMED *et al.*, 2013). Esses casos são um desafio para a sociedade como um todo, que deve desenvolver alternativas para se prevenir no caso desses eventos.

Ahmed *et al.* (2013) apresentaram também ações que poderiam ser tomadas para que Hyderabad contorne o problema das inundações e suporte essas chuvas extremas. Alguns exemplos citados são: utilização de piso permeável na construção de casas; ao planejar construções de novas áreas na cidade, optar por áreas verdes capazes de infiltrar a água da chuva; proteger áreas verdes já existentes; incentivo à política ambiental da cidade; e reforma no sistema de drenagem urbana da cidade.

2.3 Inundações em Belo Horizonte

Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais e cidade em que se localiza a área de estudo deste trabalho, de acordo com o Censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) possuía população de 2.375.151 habitantes naquele ano. Possui estimativa populacional de 2.502.557 habitantes para 2015 em uma área de 331,401 km², possuindo assim uma densidade demográfica de 7.551,5 hab/km² (IBGE, 2016).

Desde a sua fundação, em 1897, Belo Horizonte sofre com sucessivas e crescentes inundações anuais. Na busca por solucionar tal situação, a Administração Municipal, entre os anos de 1.999 e 2.001, elaborou um Plano Diretor de Drenagem Urbana. Ele foi baseado em registros da mídia impressa local desde o ano de 1932, obtendo-se, assim, uma identificação com razoável confiabilidade sobre a distribuição e frequência das inundações que ocorreram no território da cidade. Após a finalização do Plano Diretor de Drenagem da cidade, em 2002, se tornou possível preparar planos para toda a situação hídrica urbana nas bacias hidrográficas em que o território do município está contido, melhorando a organização e gestão dos serviços de drenagem urbana (CHAMPS, 2012).

Champs (2012) identificou, através de publicações na imprensa, 200 eventos de inundação na cidade de Belo Horizonte, entre 1928 e 2000. Essas inundações podem ser consideradas históricas, pois, como foram destacadas na imprensa, provocaram algum dano econômico considerável ou perdas de vida.

Na FIGURA 3 estão representadas as séries históricas de inundações e de precipitações médias para cada mês em Belo Horizonte. Nela, pode-se observar que a média de ocorrência de inundações por mês acompanha a média mensal de precipitação na cidade. Também pode-se observar que os meses nos quais historicamente mais ocorreram eventos de inundação em Belo Horizonte também foram os meses em que mais ocorrem chuvas intensas, em geral, precipitações convectivas (CHAMPS, 2012).

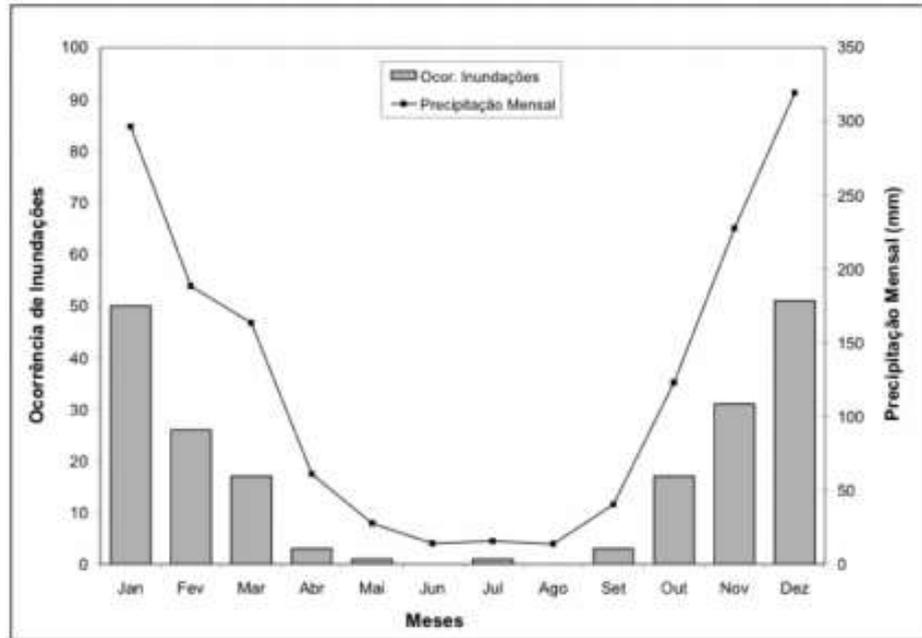


FIGURA 3 - Série histórica de inundações e precipitações médias mensais no município de Belo Horizonte/MG
Fonte: CHAMPS, 2012.

Já a FIGURA 4 apresenta a relação da evolução populacional com a ocorrência de inundações em Belo Horizonte. Nela, é possível observar que, à exceção das décadas de 1950 e 1990, a ocorrência de inundações aumenta com o crescimento populacional, em uma relação clara com, principalmente, a impermeabilização do solo devido à urbanização (CHAMPS, 2012).

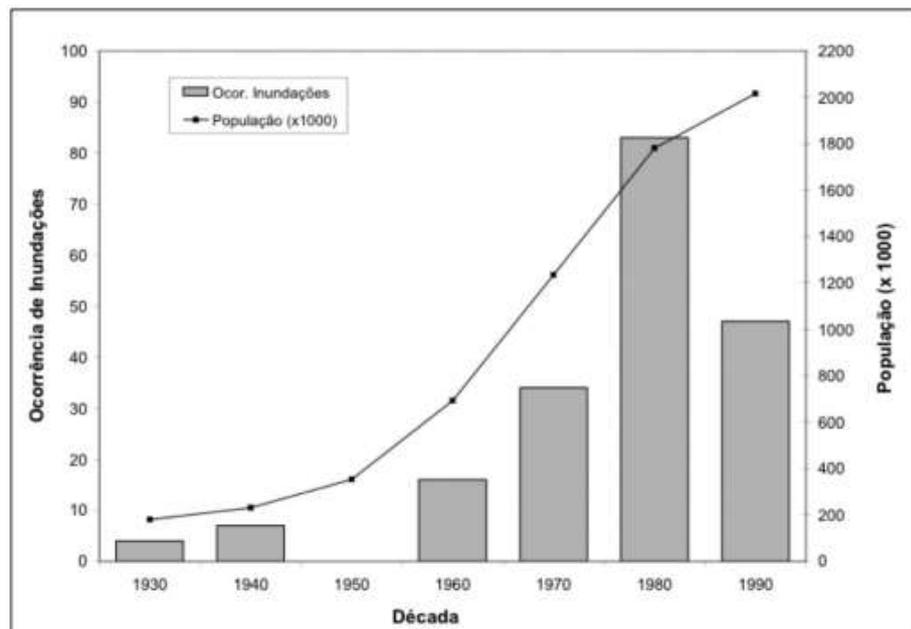


FIGURA 4 - Evolução populacional x ocorrências de inundações no município de Belo Horizonte/MG
Fonte: CHAMPS, 2012.

É importante ressaltar que cada evento de inundação possui gravidade e consequências diferentes entre si. Por exemplo, um evento que atingiu a situação de calamidade foi a ocorrência de inundação em janeiro de 1983, em que, além da grande quantidade de destruição, provocou 70 mortes (CHAMPS, 2012).

2.4 Condicionantes climáticas de Belo Horizonte/MG

Minas Gerais possui um vasto território que tem como característica uma área de transição entre climas megatérmicos tropicais e mesotérmicos temperados. O local em que Belo Horizonte está inserido possui clima tropical semiúmido, além de possuir estação seca com duração de cerca de quatro a cinco meses, entre abril e setembro (NIMER, 1979).

Segundo Lucas e Abreu (2004), a cidade possui duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro). Além disso, aproximadamente 80% das situações de precipitação anual na cidade acontecem durante a estação chuvosa.

A FIGURA 5 mostra um gráfico com a média mensal de temperaturas de Belo Horizonte ao longo do ano, para os anos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990. Pode-se observar que Belo Horizonte possui temperaturas médias que variam de 18°C no inverno a 23°C no verão.

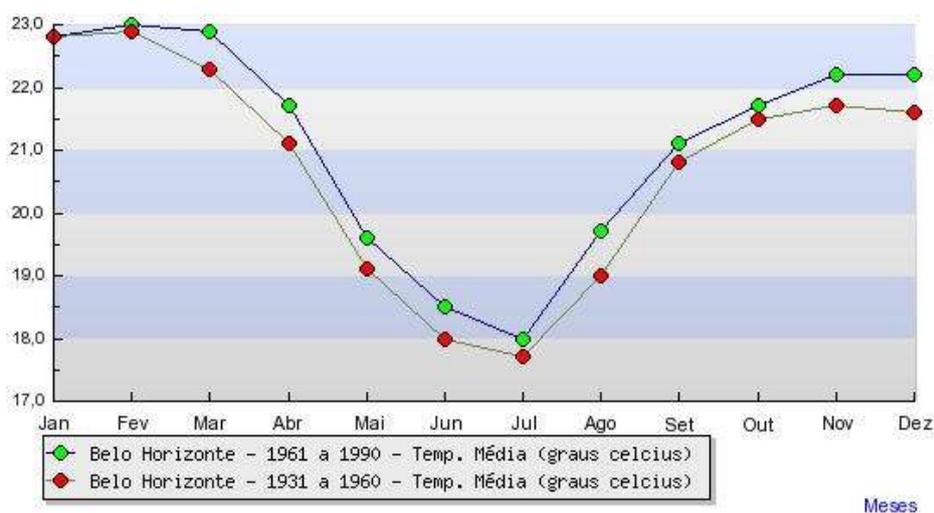


FIGURA 5- Gráfico com temperaturas históricas médias mensais de Belo Horizonte/MG

Fonte: INMET, 2016.

Relativo à precipitação, Belo Horizonte possui volume médio anual de 1491,3 mm (INMET, 2016). A FIGURA 6 apresenta um gráfico pluviométrico da cidade para os anos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, mostrando dezembro como sendo o mês mais chuvoso, e os meses de junho a agosto como os meses mais secos.

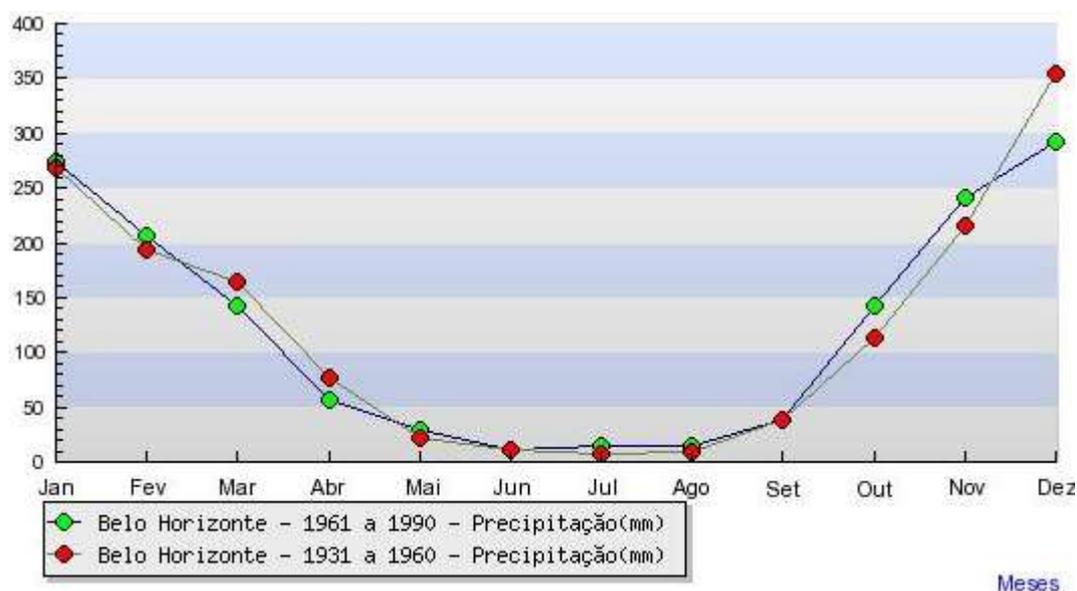


FIGURA 6 - Gráfico com precipitação histórica média mensal de Belo Horizonte/MG

Fonte: INMET, 2016.

Belo Horizonte, que possui precipitação consideravelmente maior nos meses mais quentes, entre outubro e março, sofre principalmente com a ocorrência das típicas chuvas convectivas (MOREIRA; ABREU, 2002).

As precipitações convectivas, também conhecidas como chuvas de verão, são características das regiões tropicais. Elas ocorrem através do aquecimento desigual da superfície terrestre, provocando o surgimento de camadas de ar com diferentes densidades, gerando uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Esse equilíbrio pode, por alguma razão (por exemplo, vento ou superaquecimento), ser perturbado, provocando uma ascensão brusca do ar menos denso, que pode atingir grandes altitudes. Esse tipo de precipitação possui grande intensidade e curta duração, centrado em pequenas áreas (CARVALHO; SILVA, 2006).

Portanto, as precipitações convectivas são as de maior preocupação para o caso de eventos de inundação, já que ocorrem com um grande volume de chuva em um curto período de tempo, gerando um grande volume de escoamento superficial.

2.5 Geoprocessamento

Segundo Camara e Medeiros (2006), geoprocessamento é a área do conhecimento que aplica técnicas da matemática e computação para o trabalho da informação geográfica. Esse conhecimento influencia crescentemente as áreas como Cartografia, Transportes, Comunicações, Meio Ambiente, Energia e Planejamento Urbano.

Os mecanismos computacionais para geoprocessamento são denominados Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Eles permitem a realização de complexas avaliações, integrando dados de diferentes fontes e criando bancos de dados georreferenciados. Através do SIG tornou-se muito mais prático a automatização da produção de documentos cartográficos (CAMARA; MEDEIROS, 2006).

A interação de métodos de análise através do geoprocessamento, sensoriamento remoto e SIG reproduzem um grande avanço na concepção de informações mais acuradas e com uma praticidade muito maior em sua obtenção, organização e processamento de dados (MENDES; CIRILO, 2001).

De acordo com Camara e Medeiros (2006), existem ao menos quatro grandes dimensões das questões ligadas à área ambiental em que tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica são amplamente utilizadas: Avaliação de Impacto Ambiental, Diagnóstico Ambiental, Mapeamento Temático, e Ordenamento Territorial. Todavia vale lembrar que dentro de cada um desses campos existem inúmeras aplicações mais específicas para o SIG na área dos estudos ambientais.

O geoprocessamento nos estudos de recursos hídricos significou um grande suporte proporcionado na obtenção e análise de informações espaciais, fornecimento de dados para modelos de simulação e sistemas de tomadas de decisão. Um exemplo da utilização de geoprocessamento nos estudos de recursos hídricos é a simulação hidrodinâmica do escoamento fluvial, que basicamente é o estudo do que poderá acontecer ao longo da extensão de um rio durante uma enchente, juntamente com os impactos na região de seu entorno (MENDES; CIRILO, 2001).

2.6 Método AHP

O método AHP - *Analytic Hierarchy Process* ou Processo Analítico Hierárquico foi elaborado por Thomas Lorie Saaty, na década de 70, e baseia-se na criação de uma hierarquia de decisão, constituída de níveis hierárquicos que proporcionam uma visão geral das relações relativas ao processo. Para determinar a importância relativa de cada fator hierárquico, são desenvolvidas matrizes de comparação para cada nível, sendo os seus resultados ponderados entre si (SILVA; NUNES, 2009).

De acordo com Roterdan e Belderrain (2000) o Processo Analítico Hierárquico é bastante útil em procedimentos de decisão complexos, nos quais existem muitos critérios a serem considerados para uma escolha final entre várias alternativas. Nesses casos, o método AHP é bastante importante na estruturação do problema e modelagem matemática. O seu método de separação de critérios em hierarquias e correspondência de alternativas com critérios ocasiona uma fácil compreensão e uma melhor avaliação do problema em questão

Segundo Saaty (1980, *apud* SILVA; NUNES, 2009) o método AHP é um processo de escolha fundamentado na lógica de comparação par a par, em que diversos fatores que interferem na tomada de decisão são ordenados de forma hierárquica e comparados entre si. Sendo assim, um valor de importância relativa é dado à relação entre esses fatores, em conformidade com uma escala predefinida que informa a veemência em que um fator predomina sobre outro, em relativamente à tomada de decisão.

O objetivo desse método é utilizar pesos conforme as prioridades, por exemplo, ao implementar as atividades mais importantes para determinada situação ou problema (SAATY, 1977).

Portanto, o método AHP, traduz-se, primeiramente, na construção uma escala de relevância entre os fatores a serem analisados. Posteriormente, esses fatores são colocados em uma matriz de comparação pareada, para se analisar a hierarquia de importância entre eles (BERGER et al., 2007).

A FIGURA 7 apresenta a matriz genérica de comparação do método AHP, quadrada de ordem n , considerando os julgamentos necessários na construção da matriz A . Além disso, n é também o número de fatores a serem analisados nessa matriz. Os elementos da matriz são determinados pelas seguintes condições da figura (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009):

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde:}$$

$$a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \Rightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Rightarrow \text{consistência}$$

FIGURA 7 - Matriz de comparação do Método AHP

Fonte: MARINS; SOUZA; BARROS, 2009.

Exemplificando a utilização da matriz conforme será utilizada neste trabalho, a Tabela 1 apresenta uma matriz de comparação pareado dos fatores, em que: o Uso do solo é três vezes mais impactante no objetivo de se prever inundação do que o Tipo de solo; a Altitude é cinco vezes mais impactante que o Tipo de solo; e a Declividade é sete vezes mais impactante que o tipo de solo. Assim, obtêm-se a matriz conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de comparação pareada de fatores

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altitude	Declividade
Tipo de solo	1	1/3	1/5	1/7
Uso do solo	3	1	1/3	1/5
Altitude	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1

Fonte: (BORGES *et al.*, 2015)

Posteriormente, para a determinação dos pesos, o valor de cada célula da matriz da Tabela 1 acima é dividido pelo somatório dos valores da sua coluna, obtendo-se, assim, a matriz contida na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz de determinação dos pesos

Fatores	Tipo de solo	Uso do solo	Altitude	Declividade
Tipo de solo	1/16	0,33/9,33	0,2/4,53	0,14/1,68
Uso do solo	3/16	1/9,33	0,33/4,53	0,2/1,68
Altitude	5/16	3/9,33	1/4,53	0,33/1,68
Declividade	7/16	5/9,33	3/4,53	1/1,68

Fonte: (BORGES *et al.*, 2015)

Desta forma, para se determinar os pesos é realizada a média aritmética dos elementos da mesma linha, conforme as Equações 1, 2, 3 e 4:

$$P1 = \frac{0,0625+0,0357+0,0441+0,0852}{4} = 0,0569 \quad (1)$$

$$P2 = \frac{0,1875+0,1071+0,0735+0,1193}{4} = 0,1219 \quad (2)$$

$$P3 = \frac{0,3125+0,3214+0,2206+0,1989}{4} = 0,2633 \quad (3)$$

$$P4 = \frac{0,4375+0,5357+0,6618+0,5966}{4} = 0,5579 \quad (4)$$

Assim, neste caso, foi determinado que o peso de Tipo de solo ($P1$) é 0,0569, o de Uso do solo ($P2$) é 0,1219, o de Altitude ($P3$) é 0,2633 e o de Declividade ($P4$) é 0,5579.

De acordo com Santos *et al.* (2010), o momento da atribuição de valores de relevância (peso) é encarado com um dos momentos mais importantes na produção dos mapas de inundação, tendo em vista que os esses valores definidos para cada fator são capazes de afetar de forma direta o resultado final obtido.

3 METODOLOGIA

A seguir é apresentada a metodologia realizada neste Trabalho de Conclusão de Curso, conforme resumido no diagrama de blocos da FIGURA 8 e detalhado em sequência.

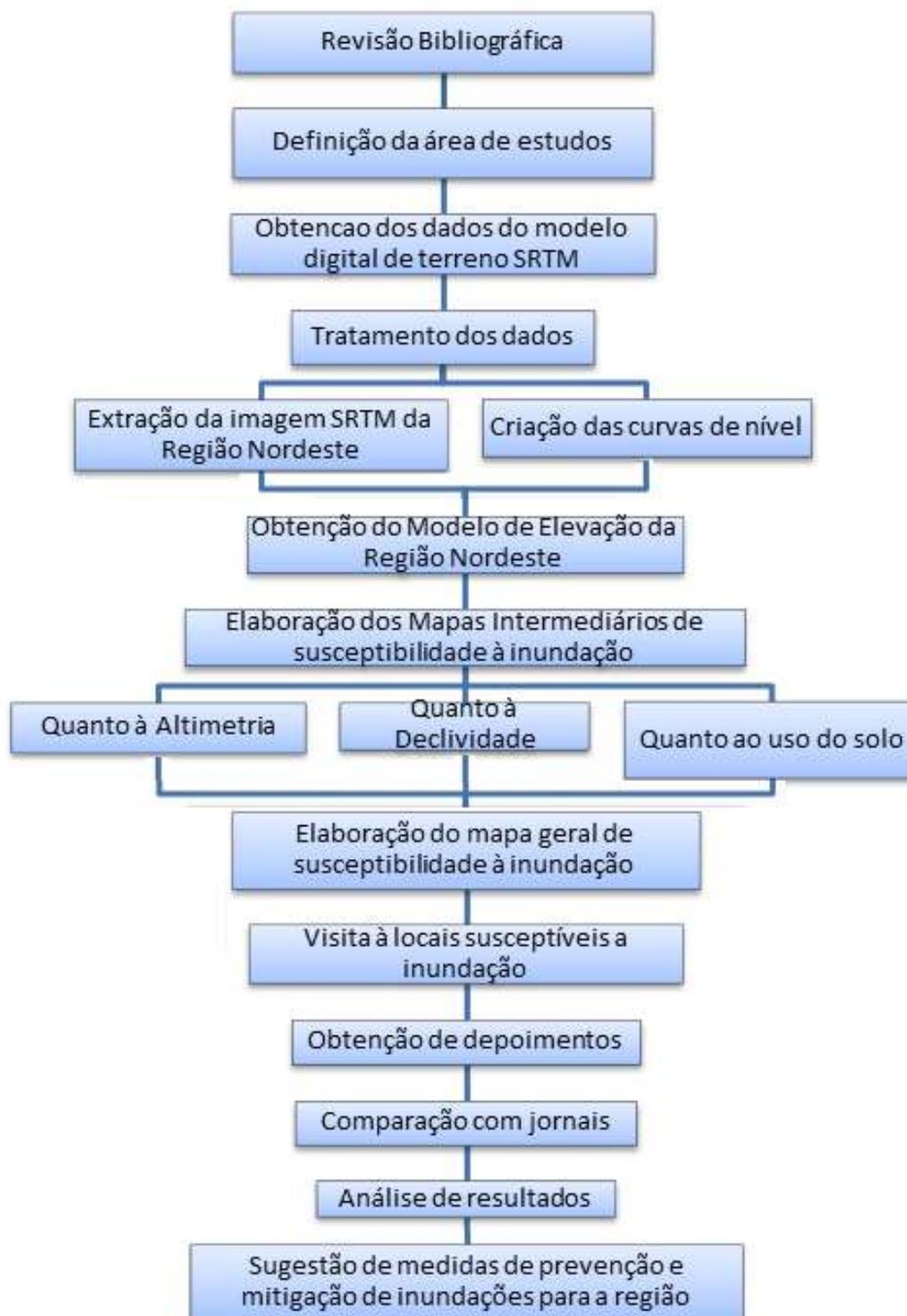


FIGURA 8 - Diagrama de blocos com as etapas da metodologia utilizada no trabalho

3.1 Realização da revisão bibliográfica

Esta etapa consistiu na realização de uma fundamentação teórica sobre alguns conceitos que foram considerados importantes para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Os conceitos que foram apresentados na fundamentação teórica são: urbanização, enchentes e inundações urbanas, inundações em Belo Horizonte/MG, condicionantes climáticas de Belo Horizonte/MG, geoprocessamento e Método AHP.

3.2 Escolha da área de estudos

Para a elaboração deste trabalho, a área escolhida para ser estudada foi a Região Nordeste de Belo Horizonte, apresentada no mapa da FIGURA 9. Esta região foi escolhida por já ser uma área conhecida da cidade pelos problemas e prejuízos com inundações em diversos dias de precipitação intensa.

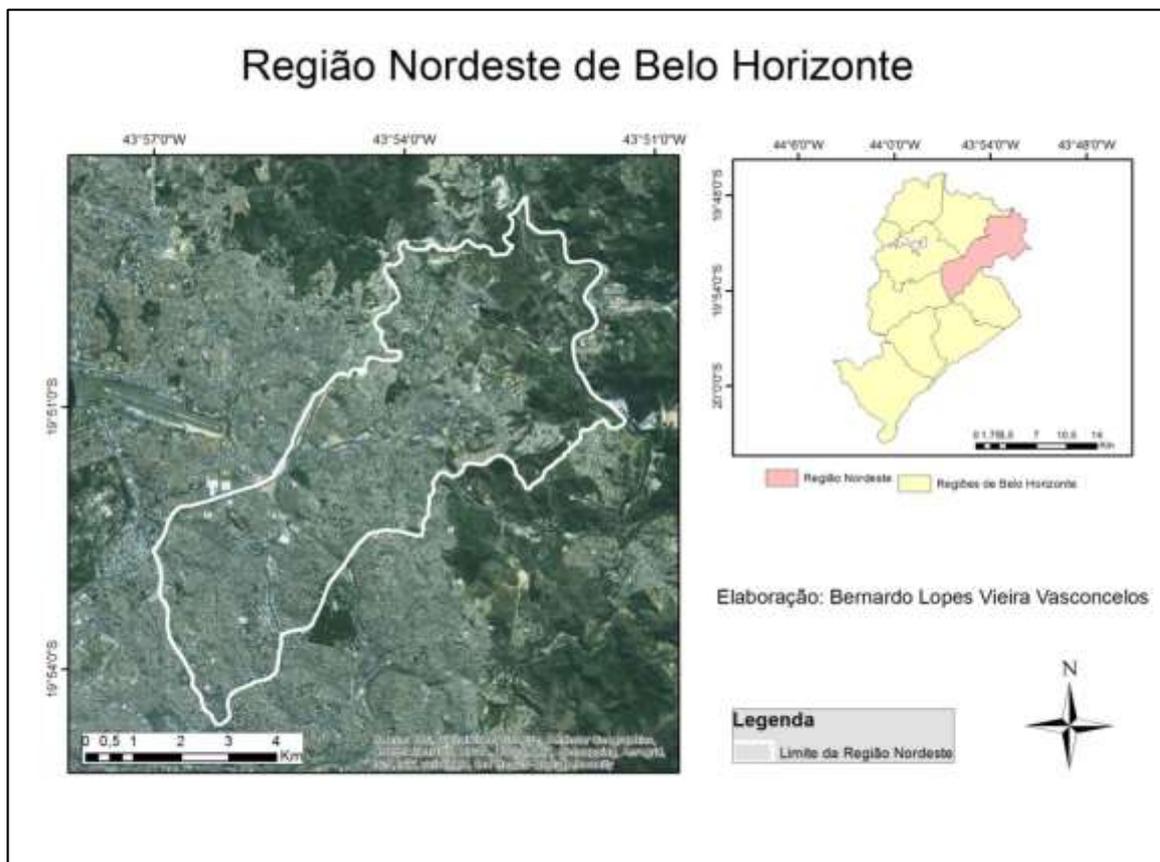


FIGURA 9 - Região Nordeste de Belo Horizonte

Fonte: Esri. Elaborado pelo próprio autor.

O relevo da região é apresentado no mapa da FIGURA 10, onde é possível observar a presença de um relevo bastante irregular. Sua altimetria varia entre 675 m e 931 m, com altitudes maiores presentes mais ao sul da região, e as menores altitudes localizadas mais ao norte do mapa.

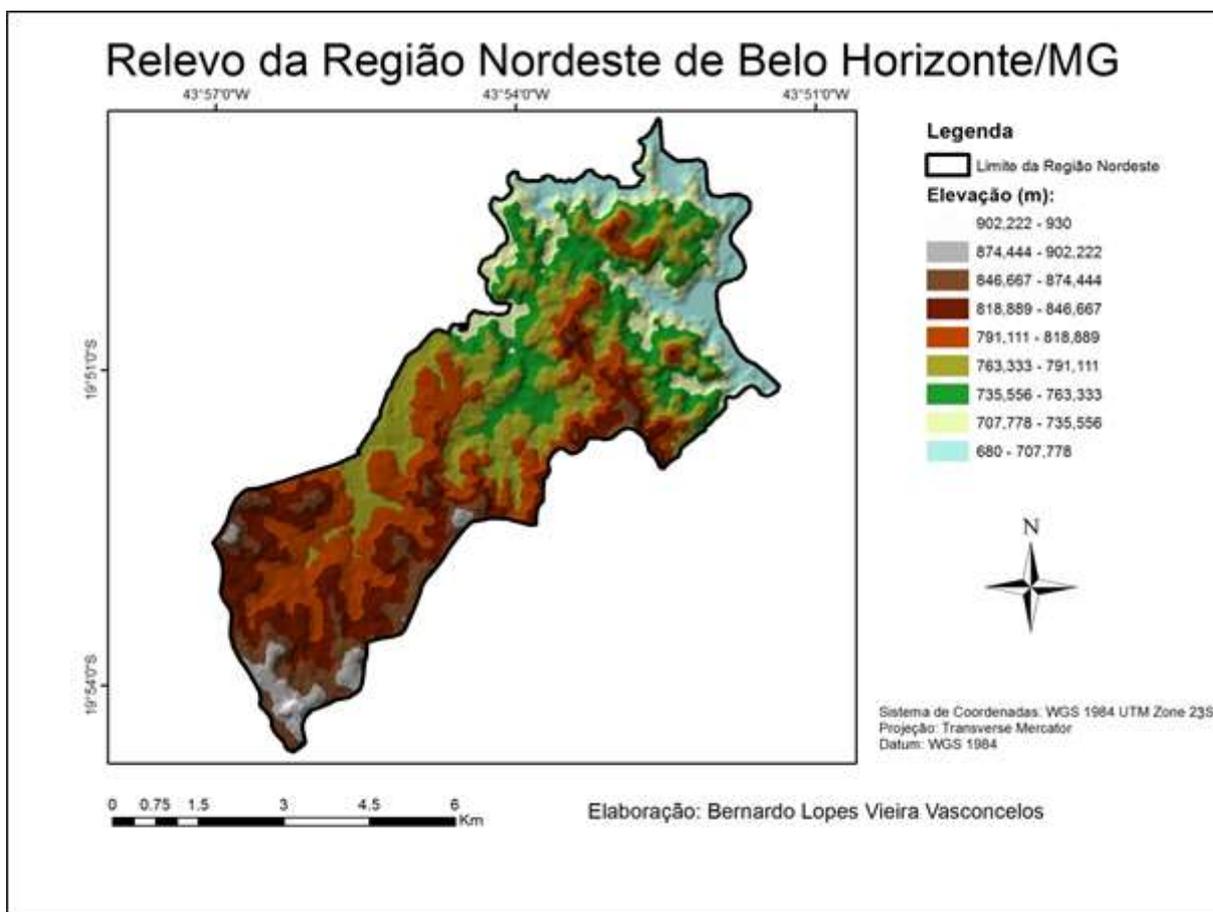


FIGURA 10 - Relevo da Região Nordeste de Belo Horizonte

Fonte: Autoria própria.

A Região Nordeste possui vias importantes para a cidade, como as avenidas Cristiano Machado, Bernardo Vasconcelos e José Cândido da Silveira, e o Anel Rodoviário, uma via expressa da grande Belo Horizonte. Por essas vias passam um fluxo intenso de veículos, representando um trânsito excessivo em alguns momentos do dia.

3.3 Obtenção de dados

Para a elaboração de curvas de nível e também do mapa de relevo da área de estudo, foi necessária a obtenção dos dados do modelo digital de terreno da Missão Topográfica Radar

Shuttle (acrônimo em inglês SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*) para utilização no *software* ArcMap 10.2.

A Missão Topográfica Radar Shuttle foi realizada em conjunto pela agência espacial norte-americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), e pela NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), entre 11 e 22 de fevereiro de 2000, através do ônibus espacial *Endeavour*. Este foi um projeto internacional para a obtenção de dados que foram utilizados para criar conjunto global de elevações de terra, que cobriu mais de 80% da área continental do planeta. O *Endeavour* orbitou a Terra 16 vezes diariamente durante os 11 dias de missão, totalizando 176 órbitas e cobrindo a superfície terrestre do planeta entre 60° de latitude norte e 56° de latitude sul, com pontos de dados publicados a cada 1 segundo de arco, equivalente a aproximadamente 30 metros (USGS, 2016).

Os arquivos SRTM foram obtidos através da plataforma *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS - U.S. Geological Survey*), publicados em setembro de 2014 e resolução de aproximadamente 30 metros (USGS, 2016).

É importante salientar que foi adotado o sistema geodésico WGS 84 ao longo deste trabalho pelo fato de que esse sistema foi utilizado na imagem SRTM, mantendo assim, todas as informações no mesmo sistema de referência.

Imagens de satélite da região de estudo também foram obtidas, através do *software* Google Earth Pro para, após georreferenciamento no programa ArcMap 10.2, serem utilizadas na obtenção do mapa de uso e ocupação do solo da Região Nordeste de Belo Horizonte.

O programa ArcMap 10.2 também possui em seu banco de dados imagens de satélite, chamadas de *World Imagery*, com as quais foi possível de se produzir o mapa da área de estudos, bem como facilitar na identificação de detalhes da área de estudo ao longo de todo o trabalho.

3.4 Tratamento dos dados

O arquivo SRTM obtido era referente a uma grande área, incluindo a Região Nordeste de Belo Horizonte. Desta forma, foi utilizado o limite dessa região e, através da ferramenta *Extract by Mask* (Extrair por Máscara), foi extraída a parte da imagem apenas dentro do limite da área de estudo.

Com a extração da imagem SRTM referente apenas à Região Nordeste de Belo Horizonte, foi possível constatar, dentre os valores de cada pixel referentes à altimetria, que o menor valor encontrado na área de estudo foi de 675 m, e o maior, 931 m.

Posteriormente, propôs-se criar curvas de nível. Essas curvas de nível não são necessárias para se chegar ao mapa final de inundação da região de estudo. Todavia são muito importantes na compreensão da superfície da área de estudo e para identificar se os resultados obtidos através dos mapas, especialmente os relativos à altimetria, estão de acordo com as curvas de nível. Além disso, através das curvas de nível é possível se obter o modelo do relevo da região.

Para obter as curvas de nível através dos dados SRTM utilizou-se a ferramenta *Contour* (Curva de Nível) no software ArcMap 10.2. Foi escolhida a formação de curvas de nível no intervalo de 10 metros, por se mostrar um valor compatível com o terreno acidentado e o tamanho da área de estudo.

Utilizando-se as curvas de nível, foi obtido o modelo de elevação da Região Nordeste, através da ferramenta TIN (*Triangulated Irregular Network* - Rede Triangular Irregular) do ArcMap 10.2. Com ele é possível elaborar um mapa de relevo da área de estudo.

3.5 Elaboração dos mapas intermediários

De acordo com Amaral e Ribeiro (2009), a probabilidade de ocorrência de inundação é analisada de acordo com a combinação de diversos condicionantes naturais e antrópicos, dentre os quais se destacam:

- Formato do relevo;
- Particularidades da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- Intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- Particularidades do solo e o teor de umidade;
- Presença ou ausência de cobertura vegetal.

Desta forma, foram escolhidos três condicionantes para análise da probabilidade de ocorrência, por se serem viáveis para o propósito deste trabalho. São eles:

- Altimetria;
- Declividade;
- Uso do Solo.

Assim, foram elaborados três mapas, chamados de intermediários, para que, com suas informações combinadas através do método AHP, fosse possível chegar a um mapa geral de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte. Os três mapas intermediários elaborados são relativos às três condicionantes citadas acima: altimetria, declividade e uso do solo.

3.5.1 Mapa de susceptibilidade a inundação quanto à altimetria

Para se mapear o risco de inundação relativo à altimetria, foi utilizado o modelo digital SRTM já recortado para o limite da Região Nordeste de Belo Horizonte. Nele, cada pixel, de aproximadamente 30 m de lado, possui um valor referente à altimetria do local.

Na área de estudo esses valores variam de 675 m a 931 m. Ou seja, eles estão classificados em 257 grupos, variando entre os valores inteiros de 675 a 931. Desta forma, pretendeu-se reclassificá-los em cinco grupos, devido à baixa variação de altimetria, cada um com um valor inteiro de 1 a 10, sendo 1 o valor de maiores altimetrias e, conseqüentemente, menor probabilidade de ocorrência de eventos de inundação, devido à gravidade, e 10 o valor de menores altimetrias e, como consequência, maior probabilidade de ocorrência de eventos de inundação.

Para realizar essa reclassificação, utilizou-se a ferramenta *Reclassify*, do ArcMap 10.2, em que os intervalos foram definidos de forma automática pelo *software*. Desta forma, cada um dos cinco grupos recebeu um novo valor referente ao peso de probabilidade de ocorrência de inundação quanto à altimetria: 1, 3, 6, 9 e 10.

Na Tabela 3 está representada a reclassificação realizada com o peso referente a cada cota, onde Valores Antigos mostram as cotas de cada pixel, e em Novos Valores estão representados os pesos referentes a cada cota, considerando a probabilidade de ocorrência de evento de inundação.

Tabela 3 - Peso para cada intervalo de cota da área de estudo

Valores Antigos	Novos Valores
675 - 725	10
725 - 769	9
769 - 806	6
806 - 845	3
845 - 931	1

No mapa foi escolhida a variação da cor vermelha para representar os variados riscos de inundação, sendo o mais claro representando as áreas com menor probabilidade de inundação, e o mais escuro representando as áreas de maior probabilidade de inundação, considerando apenas a altimetria.

As cinco áreas foram nomeadas como: Muito Baixa Probabilidade; Baixa Probabilidade; Média Probabilidade; Alta Probabilidade; Muita Alta Probabilidade, de acordo com o peso definido.

3.5.2 Mapa de susceptibilidade a inundação quanto à declividade

O segundo mapa de susceptibilidade a inundação a ser produzido foi o relativo à declividade. Ele, assim como o Mapa de susceptibilidade a inundação quanto à altimetria, também foi produzido utilizando o modelo digital SRTM da Região Nordeste de Belo Horizonte.

Para se obter os valores de declividade da área utilizou-se a ferramenta *Slope* (Declive), do ArcMap 10.2, com os valores em porcentagem. Assim, foi possível obter a declividade ao longo de toda a área de estudo.

Desta forma, para se obter o mapa de susceptibilidade a inundação quanto a declividade, utilizou-se a ferramenta *Reclassify*, do ArcMap 10.2, duas vezes posteriormente à obtenção das declividades. Primeiramente, para reclassificar as declividades obtidas de acordo com classificação de relevo, e em segundo lugar para se determinar o peso da probabilidade de ocorrência de inundação.

De acordo com IBGE (2005), o relevo do Brasil pode ser dividido em seis classes, de acordo com sua declividade, conforme demonstrado na Tabela 4: terreno Plano (0 a 3% de declividade), Suave Ondulado (3 a 8% de declividade), Ondulado (8 a 20% de declividade), Forte Ondulado (20 a 45% de declividade), Montanhoso (45 a 75% de declividade) e Escarpado (acima de 75% de declividade).

Tabela 4 - Classificação de Relevo do IBGE

Declividade	Classificação do Relevo
Plano	0 a 3%
Suave ondulado	3 a 8%
Ondulado	8 a 20%
Forte ondulado	20 a 45%
Montanhoso	45 a 75%
Escarpado	Maior que 75%

Fonte: IBGE, 2005.

Desta forma, foi utilizada a ferramenta *Reclassify*, do ArcMap 10.2, pela primeira vez para reclassificar as declividades obtidas na Região Nordeste de Belo Horizonte de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 4.

Assim, na Tabela 5 está representada a reclassificação realizada os valores das declividades. Nela, em Valores Antigos mostram as declividades dos locais, e em Novos Valores estão representados os valores atribuídos para cada intervalo de declividade. Desta forma, as declividades apresentam-se divididas nas seis classes determinadas por IBGE (2005).

Tabela 5 - Reclassificação dos valores de declividade

Valores Antigos	Novos Valores
0 - 3	1
3 - 8	2
8 - 20	3
20 - 45	4
45 - 75	5
75 - 82,4374	6

Posteriormente, pretendeu-se determinar pesos para cada tipo de relevo, de acordo com sua susceptibilidade a inundação. Assim, utilizou-se novamente a ferramenta *Reclassify*, do ArcMap 10.2, a fim de se determinar o peso correspondente para cada novo valor obtido anteriormente.

Portanto, mantendo-se o padrão de atribuir os pesos entre 1 e 10, os novos valores foram reclassificados nesse intervalo, considerando-se que quanto maior a declividade, mais o valor deve ser próximo de 1, e quanto menor a declividade, mais o valor deve ser próximo de 10, por possuir maior susceptibilidade a inundação. Assim, o terreno Escarpado recebeu o valor 1,

o Montanhoso recebeu 2, o Forte Ondulado recebeu 4, Ondulado recebeu 5, Suave Ondulado recebeu 7, e Plano recebeu 10 de peso (por ser considerado o tipo de terreno com maior probabilidade de ocorrência de inundação).

Na Tabela 6 está representada a reclassificação realizada com o peso a cada tipo de relevo, onde *Value* (valor) representa os pesos referentes a cada cota, considerando a probabilidade de ocorrência de evento de inundação, *Count* (contagem) apresenta a quantidade de pixels de cada tipo de relevo presentes na área de estudo e Relevo apresenta os tipos de relevo de acordo com o classificado por IBGE (2005).

Tabela 6 - Peso para cada tipo de relevo

Valor	Contagem	Relevo
2	139	Montanhoso
4	11055	Forte Ondulado
5	22404	Ondulado
7	8425	Suave Ondulado
10	1951	Plano

Pode-se observar, na Tabela 6, que não se encontra presente o tipo de relevo Escarpado. Isto ocorre, pois houve, na área de estudo, apenas um pixel isolado com valor de declividade maior que 75%, portanto ele não foi considerado. Ainda observando a tabela, é possível observar uma predominância de relevo Ondulado e Forte Ondulado na área de estudo. Todavia, os 1951 pixels de relevo Plano e, portanto, peso 10 nesse quesito, representam áreas que, combinadas com os fatores de altimetria e uso do solo, possuem altas chances de serem consideradas como susceptíveis a eventos de inundação.

No mapa, foram escolhidas cores mais próximas do vermelho para identificar áreas com maior probabilidade de ocorrência de inundação, e cores mais próximas do verde para representar áreas com menor probabilidade de ocorrência de eventos de inundação quanto a declividade.

Por fim, as cinco áreas foram nomeadas como: Muito Baixa Probabilidade; Baixa Probabilidade; Média Probabilidade; Alta Probabilidade; Muita Alta Probabilidade, de acordo com o peso definido.

3.5.3 Mapa de susceptibilidade a inundação quanto ao uso do solo

O terceiro mapa de susceptibilidade a inundação a ser produzido foi o relativo ao uso e ocupação do solo. Para isso, foi necessária a obtenção de uma imagem de satélite da área de estudos para que esta possa ter seu território dividido conforme seu uso e ocupação do solo.

A imagem escolhida para ser trabalhada é da DigitalGlobe, empresa americana que fornece imagens geoespaciais. Ela foi obtida através do *software* Google Earth Pro e é datada de 24 de junho de 2016.

A imagem obtida precisou ser georreferenciada para que fosse corretamente localizada no mapa juntamente com os demais objetos do mapa. Portanto, esse processo foi realizado no *software* ArcMap 10.2, através de pontos de controle.

Posteriormente, a imagem foi recortada dentro do limite da Região Nordeste, através da ferramenta *Extract by Mask* (Extrair por Máscara), do ArcMap 10.2, pois apenas terá seu uso e ocupação considerados.

É importante salientar que, devido ao nível de detalhamento da imagem, foi decidido classificar o uso e ocupação do solo da área de estudo em dois grupos apenas: cobertura vegetal e área urbanizada.

Para se determinar o uso e ocupação de toda a área de estudo, foi realizada a classificação supervisionada. Esse processo se constituiu em selecionar amostras da imagem de satélite no *software* ArcMap 10.2, em que eram classificadas, uma a uma, em cobertura vegetal ou área urbanizada. Esse Processo foi realizado utilizando-se a ferramenta *Create Signatures* (Criar Assinaturas), do mesmo *software*.

Em seguida, através da ferramenta *Maximum Likelihood* (Máxima Probabilidade) do *software* ArcMap 10.2 e das amostras classificadas anteriormente, foi construído o uso e ocupação do solo para todo o território da Região Nordeste de Belo Horizonte, sendo classificado em cobertura vegetal ou área urbanizada.

Posteriormente, para a atribuição de pesos, foi utilizada a ferramenta *Reclassify*, do *software* ArcMap 10.2. Foi escolhido peso 8 para a área urbanizada, por ser bastante impermeável, mas não totalmente, e peso 2 para as áreas com cobertura vegetal, devido a sua facilidade em absorver água e diminuir o escoamento superficial, contribuindo com o combate à inundação.

Por fim, no mapa, foi escolhida a cor verde para identificar as áreas com cobertura vegetal, e a cor cinza para representar as áreas urbanizadas.

3.6 Elaboração do mapa geral de susceptibilidade a inundação

Após a elaboração dos três mapas intermediários, foi possível produzir o mapa geral de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte. Para tal, foi utilizado o método AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico), proposto por Saaty (1980).

Assim, de acordo com o sugerido por Magalhães *et al.* (2012), considerou-se, para o caso de susceptibilidade a inundação, que o fator declividade era o mais importante, seguido por uso do solo e, considerado o menos importante, altimetria. Além disso, o fator declividade foi considerado sete vezes mais importante que a altimetria, e o uso do solo, três vezes mais importante do que a altitude, como demonstrado na Tabela 7.

Ainda na Tabela 7, pode-se observar a atribuição de pesos para cada um dos fatores, considerando a relevância de cada fator para a probabilidade de ocorrência de inundação.

Tabela 7 - Matriz de comparação dos fatores e atribuição dos pesos

Fatores	Altimetria	Uso do solo	Declividade	Pesos
Altimetria	1	0,3333	0,1429	0,088
Uso do solo	3	1	0,3333	0,2426
Declividade	7	3	1	0,6694

Fonte: Saaty (1997) citado por Rosot (2000)

Desta forma, após a obtenção de pesos, foi elaborada a Equação 5, para a elaboração do mapa geral de susceptibilidade a inundação. Ela foi obtida através somatório do produto do valor de cada um dos fatores com o valor do peso que consta na Tabela 7.

$$POI = 0,088 \times A + 0,243 \times US + 0,669 \times D \quad (5)$$

Em que:

POI: probabilidade de ocorrência de inundação,

A: altimetria,

US: uso do solo e

D: declividade.

Posteriormente à elaboração da Equação 5, foi executada uma operação de álgebra de mapas, realizando essa operação a partir dos pixels dos três mapas intermediários elaborados

previamente. Esta operação foi realizada através da ferramenta *Raster Calculator* (Calculadora Raster), do *software* ArcMap 10.2.

Em sequência, utilizou-se a ferramenta *Reclassify*, do ArcMap 10.2, para a determinação de cinco classes quanto a probabilidade de ocorrência de inundação, através de quebras naturais, como demonstrado na Tabela 8, em que Valores Antigos representa os resultados da Equação 5 e Novos Valores representa o novo valor do pixel, de acordo com a sua susceptibilidade a inundação, em que 1 retrata as áreas de menor susceptibilidade a inundação, e 5 as de maior susceptibilidade.

Tabela 8 - Reclassificação do mapa geral de susceptibilidade a inundação

Valores Antigos	Novos Valores
1,9 - 4,26	1
4,26 - 5,24	2
5,24 - 6,28	3
6,28 - 7,92	4
7,92 - 9,48	5

No mapa foi escolhida a variação da cor azul para representar os variados riscos de inundação, sendo o mais claro representando as áreas com menor probabilidade de inundação, e o mais escuro representando as áreas de maior probabilidade de inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte.

As cinco áreas foram nomeadas como: Risco Mínimo; Risco Baixo; Risco Médio; Risco Alto; Risco elevado.

3.7 Verificação das ocorrências de inundação na Região Nordeste de Belo Horizonte

Após a elaboração do mapa geral de inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte, pretendeu-se verificar a ocorrência de eventos de inundação nesta região, a fim de se confirmar as informações obtidas através do mapa.

Para tal, foi realizada uma visita à região para que depoimentos de moradores e frequentadores do local confirmassem a ocorrência de inundações, bem como para se conhecer as peculiaridades dos locais apontados com maior risco de inundação, procurando também identificar ações de mitigação por parte da prefeitura.

Além disso, para se verificar a ocorrência de inundações na área de estudos, foram pesquisadas notícias em jornais da cidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através dos procedimentos realizados neste Trabalho de Conclusão de Curso.

A FIGURA 11 apresenta o mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à altimetria. Ele apresentou cinco diferentes áreas, classificadas de acordo com sua susceptibilidade a inundação, considerando-se apenas a altitude, que na área de estudo varia entre 675 m a 931 m.

Assim, as maiores cotas altimétricas representam uma menor probabilidade de ocorrência de inundação, devido à gravidade e a tendência da água se acumular em áreas mais baixas. Com o mesmo raciocínio, os valores de menores altimetrias representam uma maior probabilidade de ocorrência de eventos de inundação.

No mapa da FIGURA 11, estão representados cinco grupos divididos de acordo com sua susceptibilidade a inundação. Cada grupo, e seus respectivos intervalos de altimetria são: Muito Baixa Probabilidade (675 m a 725 m); Baixa Probabilidade (725 m a 769 m); Média Probabilidade (769 m a 806 m); Alta Probabilidade (806 m a 845 m); Muita Alta Probabilidade (845 m a 931 m).

Os resultados apresentados no mapa da FIGURA 11 estão de acordo com o relevo da região, com os valores de maior altimetria se apresentando principalmente mais ao sul do mapa, e os de menor altimetria, mais ao norte.

De um total de 40,12 km² da área de estudo, 4,81 km² correspondem à área classificada como Muito Baixa Probabilidade de inundação, 9,50 km² à Baixa Probabilidade, 11,94 km² à Média Probabilidade, 8,19 km² à Alta Probabilidade e 5,64 km² correspondem à área de Muita Alta Probabilidade de ocorrência de eventos de inundação.

Na FIGURA 12 é apresentado o Mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à declividade. Nele estão contidas cinco diferentes áreas que foram classificadas de acordo com sua susceptibilidade a inundação considerando apenas a declividade.

A análise do mapa da FIGURA 12 é muito importante para a compreensão do mapa geral de inundação da região, pois o fator declividade é o mais importante e de maior peso para a obtenção dos locais susceptíveis a inundação. Isto ocorre pela tendência da água se acumular em locais de baixa declividade, principalmente planos.

Susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte/MG quanto à Altimetria

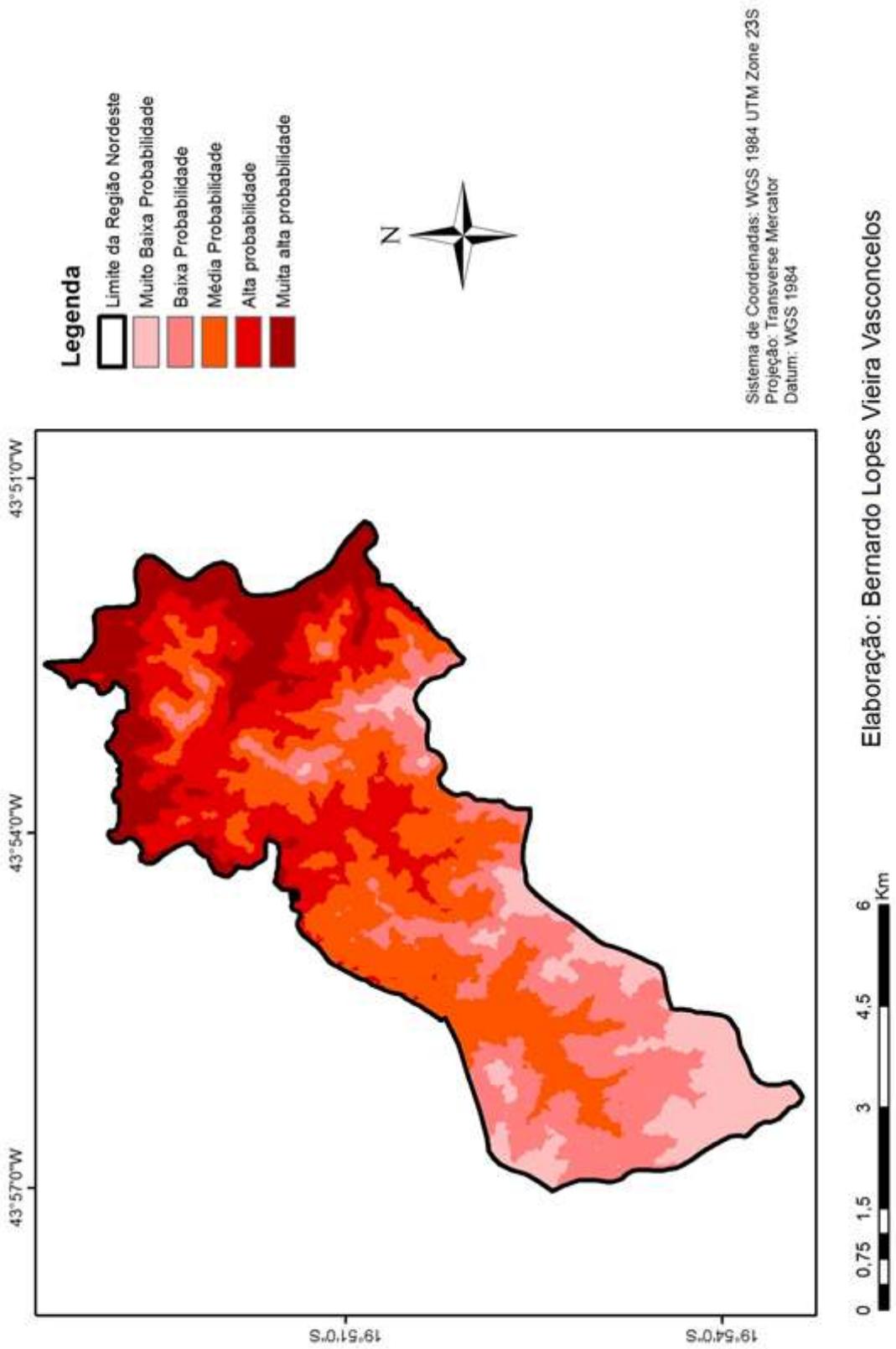


FIGURA 11 - Mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à altimetria

Fonte: Autoria própria.

Susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte/MG quanto à Declividade

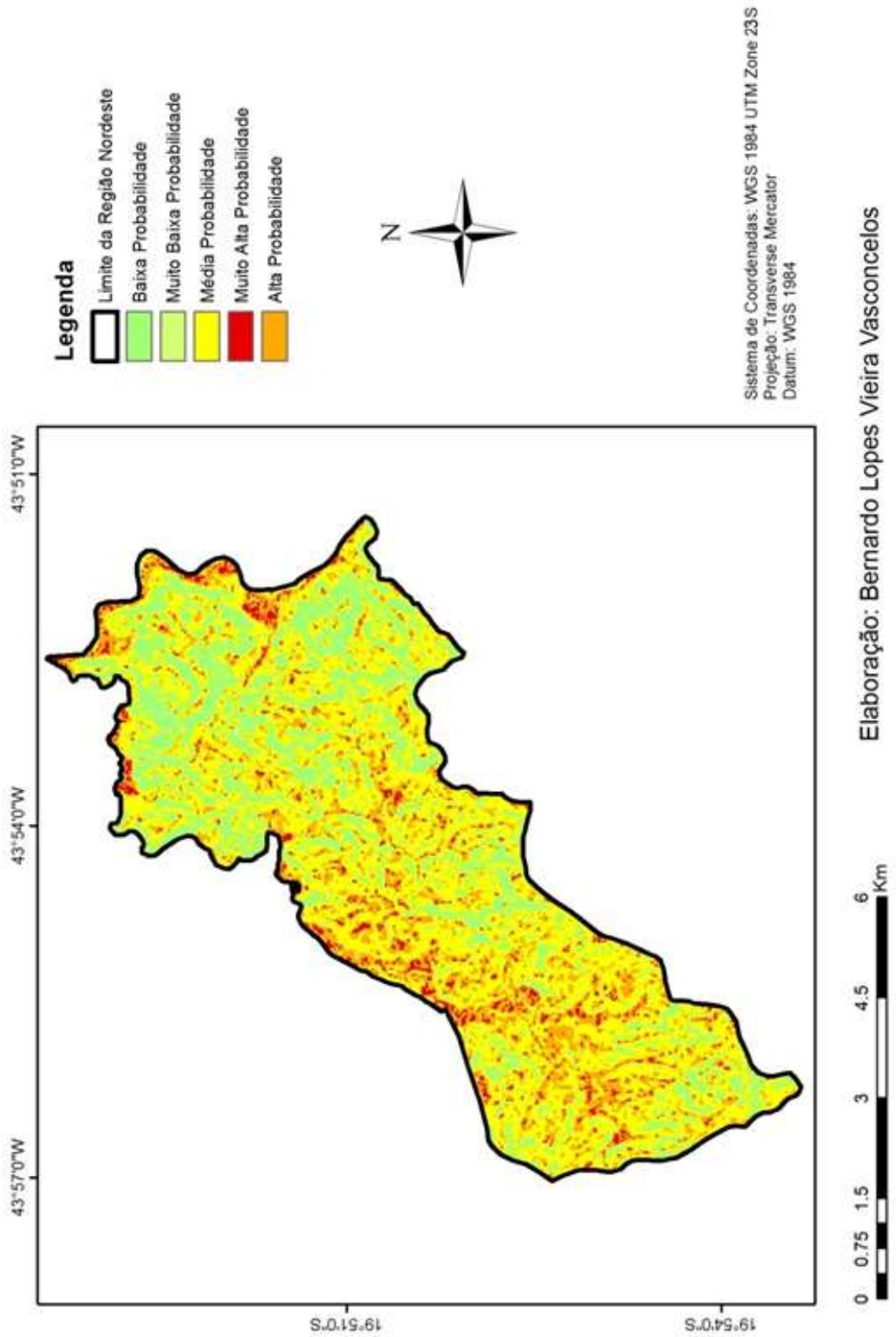


FIGURA 12 - Mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto à declividade

Fonte: Autoria própria.

No mapa de susceptibilidade a inundação quanto à declividade, na FIGURA 12, a área correspondente a Muito Baixa Probabilidade de inundação ocupa $0,10 \text{ km}^2$ da área de estudo, a de Baixa Probabilidade $9,95 \text{ km}^2$, a de Média Probabilidade $20,85 \text{ km}^2$, a de Alta Probabilidade $7,28 \text{ km}^2$ e a área de Muito Alta Probabilidade ocupa $1,63 \text{ km}^2$ dos $40,12 \text{ km}^2$ da Região Nordeste de Belo Horizonte.

O mapa da FIGURA 12, portanto, representa bem o relevo da cidade de Belo Horizonte, bastante acidentado e sem muitas áreas planas. Todavia, isto acaba por aumentar ainda mais a probabilidade de ocorrência de inundação nas áreas mais planas. Isto ocorre, pois a tendência é que, em caso de chuvas mais intensas, grande parte da água escoada nas áreas verdes do mapa (de maior declividade e menor probabilidade de ocorrência de inundação) se acumule nas áreas laranja e, principalmente, vermelha (de menor declividade e maior probabilidade de ocorrência de inundação).

Portanto, as áreas em laranja e, principalmente, em vermelho no mapa de susceptibilidade a inundação quanto à declividade da FIGURA 12, apresentam uma considerável probabilidade de haver eventos de inundação, sobretudo devido ao peso da declividade na Equação 5, apresentada anteriormente.

Após os mapas considerando a altimetria e a declividade, apresenta-se o mapa de susceptibilidade a inundação quanto ao uso e ocupação do solo da Região Nordeste de Belo Horizonte, na FIGURA 13. Devido ao detalhamento da imagem que originou o mapa, foi possível realizar a divisão da área de estudo apenas em Cobertura Vegetal, em que haverá baixa probabilidade de ocorrência de inundação, e em Área Urbanizada, com alta probabilidade de ocorrência desses eventos, devido principalmente à impermeabilização do solo.

No mapa da FIGURA 13 foi possível observar uma grande predominância de área urbanizada. Ela representou $29,10 \text{ km}^2$ da área da região, de um total de $40,12 \text{ km}^2$, ou seja, 72,5% da área, enquanto que o restante, classificado como cobertura vegetal, representou $11,01 \text{ km}^2$, ou seja, 27,5% da região.

Esse predomínio da área urbanizada se mostra condizente com a cidade de Belo Horizonte, uma cidade muito populosa e urbanizada.

A área com maior cobertura vegetal se encontra mais a nordeste do mapa da FIGURA 13. Isto ocorre por esta ser uma área mais afastada do centro de Belo Horizonte, na divisa com Sabará, uma cidade bem menos populosa. Sendo assim, observa-se uma tendência da área ser mais urbanizada conforme se aproxima da região central de Belo Horizonte.

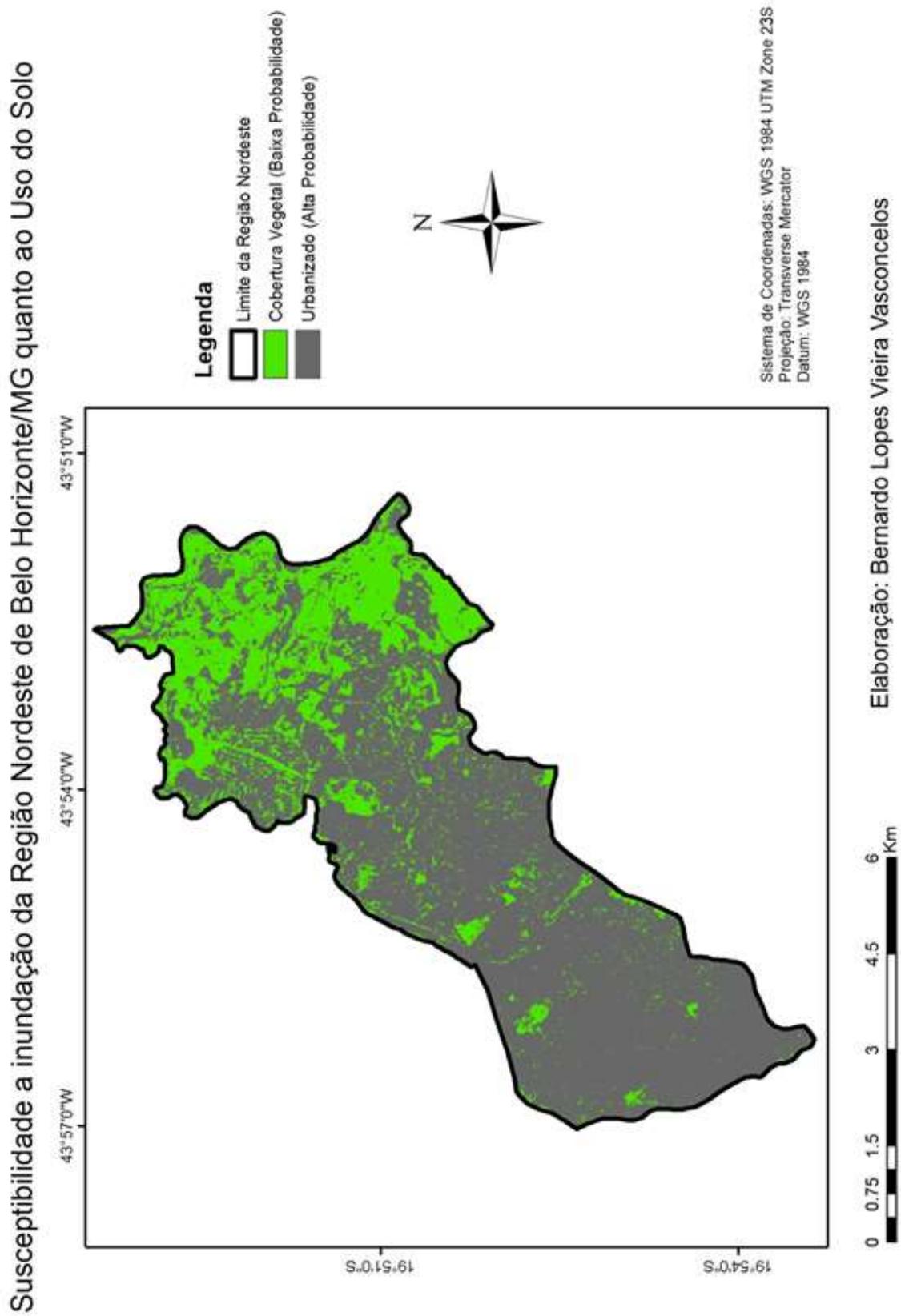


FIGURA 13 - Mapa de susceptibilidade a inundações da Região Nordeste de Belo Horizonte quanto ao uso do solo

Fonte: Autoria própria.

A probabilidade de ocorrência de eventos de inundação é maior nas regiões urbanizadas, pois, devido ao solo mais impermeável, a água encontra dificuldade em infiltrar no solo, aumentando o escoamento superficial. Estas áreas dependem muito do escoamento da água nos bueiros, que muitas vezes se entopem devido aos resíduos sólidos jogados erroneamente em vias públicas.

Na FIGURA 14 é apresentado o mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte. Ele é a união dos três mapas discutidos anteriormente e é o principal resultado deste trabalho. Pode-se observar, que a área foi dividida em cinco diferentes grupos, considerando sua susceptibilidade a inundação, sendo os locais mais claros os de menor risco de inundação e os com tons de azul mais escuro, os locais com risco mais elevado.

No mapa da FIGURA 14, a área de Risco Mínimo apresentou 5,72 km², de Risco Baixo 6,05 km², de Risco Médio 17,04 km², de Risco Alto 8,05 km² e de Risco Elevado 2,60 km². Por apresentar apenas 2,60 km² do total de 40,12 km² (ou seja, 6,5%) da área de estudos, pode-se supor que o local com Risco Elevado é muito pequeno se comparado com toda a Região Nordeste. No entanto, um evento de chuva intensa pode causar diversos estragos nessa área.

Além da área classificada como Risco Elevado no mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste na FIGURA 14, a área com Risco Alto também merece atenção, pois no caso de chuvas de maiores intensidades e com alta duração também podem contribuir com a ocorrência de sérios eventos de inundação, especialmente quando potencializado com algum outro fator, como entupimento de bocas de lobo.

As outras três áreas classificadas no mapa da FIGURA 14 (Risco Mínimo, Risco Baixo e Risco Médio), possuem muito menor probabilidade de ocorrência de inundação e, portanto, não necessitam grande atenção nos momentos de chuva extrema. Entretanto, nessas áreas é possível de se implantar medidas mitigadoras para diminuir os impactos das inundações nas áreas de Risco Alto e Elevado.

Ainda analisando o mapa da FIGURA 14, e comparando com a localização de ruas e córregos, três faixas longas de áreas de Risco Alto e Elevado chamam a atenção. Uma se localiza acompanhando o contorno da Avenida Bernardo Vasconcelos, outra acompanhando a Avenida Cristiano Machado, ambas se localizando na região sudoeste do mapa, e a terceira acompanha o traçado do Ribeirão da Onça, na divisa noroeste do mapa.

Susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte/MG

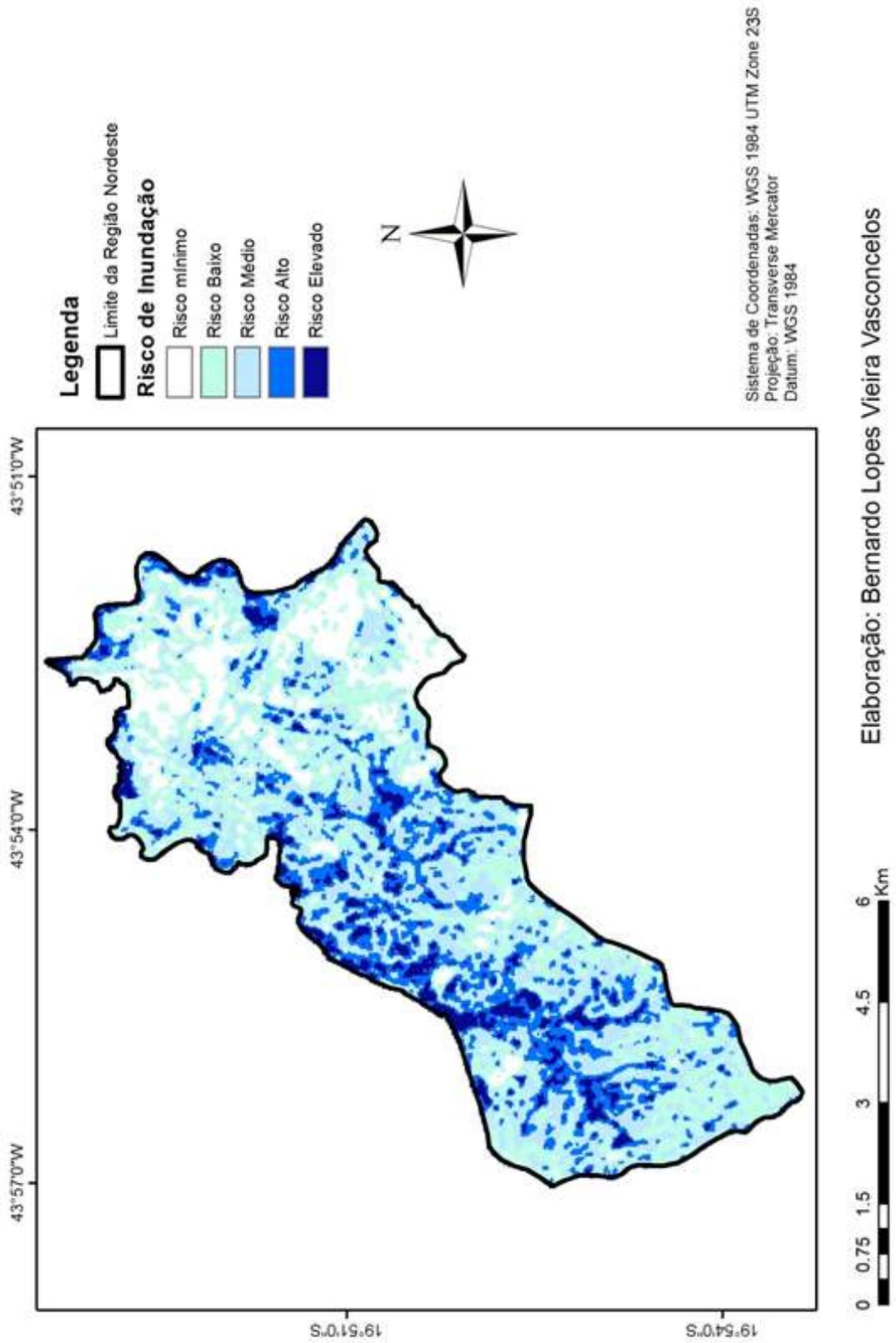


FIGURA 14 - Mapa de susceptibilidade a inundação da Região Nordeste de Belo Horizonte

Fonte: Autoria própria.

Fazendo uma comparação entre todos os mapas produzidos, pode-se perceber que o espaço com cobertura vegetal foi o grande responsável pelo baixo número de áreas de Risco Alto e Elevado no norte do mapa de susceptibilidade a inundação, na FIGURA 14. Já a ausência de vegetação devido ao forte nível de urbanização no restante da região contribui significativamente para a ocorrência de inundação.

Todavia, é importante ressaltar que não são apenas os fatores considerados nos mapas (altimetria, declividade e uso do solo) que contribuem para a ocorrência de inundação. Outros fatores também são determinantes para ocorrência de inundação, como o entupimento de bocas de lobo devido a resíduos sólidos dispostos de qualquer maneira em vias públicas, a ausência de áreas impermeáveis a montante e a ocorrência de chuvas extremas.

Sendo assim, o mapa da FIGURA 14 apresenta uma tendência à susceptibilidade a inundação, devendo todos os outros fatores citados acima também serem considerados.

Após a análise do mapa de susceptibilidade a inundação da FIGURA 14, realizado neste trabalho, pode-se identificar locais com maior probabilidade de ocorrência de eventos de inundação. Um mapa como esse, juntamente com outras ferramentas e recursos, pode auxiliar bastante no combate às consequências da inundação, por poder identificar exatamente onde esse problema é maior.

Pensando nisso, foi realizada uma visita a alguns locais identificados com maiores riscos de inundação para conhecer melhor suas peculiaridades e ouvir moradores e frequentadores do local e, assim, validar os resultados obtidos através do mapa de susceptibilidade a inundação.

Foram visitadas, no dia 6 de outubro de 2016, a Avenida Bernardo Vasconcelos e a Avenida Cristiano Machado no trecho da Região Nordeste de Belo Horizonte, locais em que foram identificados neste trabalho risco altos e elevados de ocorrer inundações.

Em ambas as avenidas foram identificados trechos planos, cercados de locais de maior altimetria e declividade, ou seja, no caso de chuva, a água tende a escoar para esses trechos e se acumular neles, podendo ocorrer inundação conforme a intensidade da precipitação.

Nota-se também o grande nível de urbanização em ambas as avenidas, com presença de vias, prédios, casas e comércios, gerando uma grande impermeabilização do solo. Além disso, na Avenida Cristiano Machado quase não foi observada presença de vegetação para absorver a água das chuvas. Na Avenida Bernardo Vasconcelos foi constatada uma maior presença de vegetação, mas também em pequena quantidade, sem muita vegetação a montante, para diminuir o escoamento superficial da região.

A FIGURA 15 apresenta uma foto da Avenida Bernardo Vasconcelos, em um trecho com presença de algumas árvores, gramados e, como em praticamente toda sua extensão, é plano.



FIGURA 15 – Foto de um trecho da Avenida Bernardo Vasconcelos

Fonte: Autoria própria

Também foram constatadas, na Avenida Bernardo Vasconcelos, placas com aviso da prefeitura aos motoristas, a fim de se evitar maiores desastres em caso de inundação, como na FIGURA 16, em que é orientado que eles saiam da avenida em caso de chuva forte, e na FIGURA 17, na qual a orientação é para que os motoristas evitem estacionar em locais críticos da avenida em caso de chuva forte.



FIGURA 16 - Aviso da Prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos aos motoristas em caso de chuva forte

Fonte: Autoria própria.



FIGURA 17 - Aviso da prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos para que motoristas evitem estacionar no local em caso de chuva forte

Fonte: Autoria própria.

Também foram observados, na Avenida Bernardo Vasconcelos, alguns avisos da prefeitura, como na FIGURA 18, para conscientizar os cidadãos a não jogar resíduos sólidos em vias públicas, já que isso contribui para a ocorrência de eventos de inundação.



FIGURA 18 - Aviso da prefeitura na Avenida Bernardo Vasconcelos para tentar evitar inundação

Fonte: Autoria própria.

Também foi observado tráfego intenso de veículos nas duas avenidas. Isto demonstra um maior potencial de ocorrência de perdas materiais e de vida no caso de uma inundação, pois, caso a mesma ocorra em um horário de pico no trânsito da região, o nível da água nas ruas pode surpreender um grande número de motoristas.

No local também foram obtidos depoimentos de moradores e frequentadores do local que confirmassem a ocorrência de inundações na região. Isto tem por objetivo ajudar a confirmar as informações obtidas através do mapa de susceptibilidade a inundação.

Desta forma, cinco pessoas que estavam no local no dia da visita foram ouvidas, e seus comentários são apresentados a seguir, através de nomes fictícios.

Adriano, estudante de 19 anos, relatou:

Moro aqui no bairro Concórdia e nunca presenciei nenhuma inundação. Mas já aconteceu de diversas vezes meus pais comentarem que não vão pegar a Avenida Cristiano Machado ao sair de casa, pois é perigoso que lá alague. Então imagino que isso ocorra com uma certa frequência.

Bianca, estudante de 21 anos, expôs:

Eu moro aqui perto do Córrego Cachoeirinha, um quarteirão para cima, por sorte. Mas já vi várias vezes de inundação por aqui. A ordem aqui em casa é que quando tiver chuva muito forte, de preferência nem sair de casa, mas quando isso for inevitável, a gente pega um caminho completamente diferente para não passar pela Avenida Bernardo Vasconcelos. Sei que quando a água sobe, é muito rápido.

Cristiano, aposentado de 66 anos, relatou:

Certa vez, fui ao Minascasa Shopping com minha esposa e minha filha. Na volta pra casa, fui passar pela Avenida Cristiano Machado, mas assim que entramos na avenida, percebemos que ela estava toda alagada. Era realmente assustador. Tudo bem que a chuva foi fora do comum, se não me engano tinha até granizo. Mas passamos por um grande aperto.

Daniel, servidor público de 50 anos, relatou:

Passo pelas avenidas Cristiano Machado e Bernardo Vasconcelos frequentemente. Já vi muito caso de alagamento. E quando isso acontece, pra piorar para o trânsito da cidade inteira, né? Eu já sei, quando a chuva é aquela que a gente sabe que vai causar estrago, já procuro passar por caminhos alternativos e quando for o caso nem saio de onde eu estou.

Eduardo, comerciante de 47 anos, narrou:

Já presenciei sim, várias cenas de inundação. Aqui na nossa loja até que a água não chega a um nível muito alto não, mas dois quarteirões para o lado já inunda tudo. Aí quando isso acontece é uma destruição total. A água sobe muito rápido. Além do córrego, tem a água da região toda descendo pra cá. E eu vejo muito motorista tentando encarar a água, isso é muito perigoso. Aí quando a gente vê que a chuva é mais intensa, nós já começamos a rezar pra não acontecer nada de mais sério.

Através dos depoimentos apresentados, foi possível confirmar que a Região Nordeste sofre bastante com a ocorrência de inundações, influenciando diretamente na vida dos moradores e frequentadores locais. Também foi possível observar que os locais mais citados foram as avenidas Bernardo Vasconcelos e Cristiano Machado, conforme já demonstrado nos resultados obtidos deste trabalho.

Para confirmar a presença de inundação na Região Nordeste de Belo Horizonte e comparar com o mapa de susceptibilidade a inundação obtido na FIGURA 14, também foram buscadas informações em jornais.

Segundo o Jornal Estado de Minas (2015), muitos moradores e comerciantes do Bairro Palmares, por onde passa a Avenida Bernardo Vasconcelos, se preocupam bastante quando as nuvens indicam a possível ocorrência de chuva. Um frentista em um posto de combustíveis da região relatou que diversas vezes o córrego que passa pelo meio da via extravasou os limites do canal, invadindo lojas e arrastando carros. Ele ainda informou que uma vez ajudou a resgatar uma mulher presa dentro de um carro, durante uma inundação.

O córrego Cachoeirinha, citado em alguns depoimentos e em jornais, é um córrego canalizado que passa pela Avenida Bernardo Vasconcelos, dividindo as duas pistas. No dia da visita, conforme a FIGURA 19, ele se encontrava com uma vazão muito pequena, principalmente devido à grande quantidade de dias sem chuva na cidade. Entretanto, nos dias de chuva intensa ele pode transbordar e invadir as ruas, contribuindo com a ocorrência de inundações.



FIGURA 19 - Córrego Cachoeirinha na Avenida Bernardo Vasconcelos

Fonte: Autoria própria.

Segundo o Jornal Estado de Minas (2016), Nilton, um motoboy de 32 anos, relatou:

Estava trabalhando, tinha muitas entregas de comida para fazer. Assim que começou a chover, parei debaixo de uma marquise, peguei minha capa e segui adiante. Na Cidade Nova (Região Nordeste), nas imediações da Avenida Cristiano Machado, a água descia com muita força. O pior de tudo foi receber tanta fechada no trânsito. Nessa situação, os motoristas jogam o carro para cima da gente sem o menor respeito.

De acordo com o Jornal Estado de Minas (2015), há um supermercado na Avenida Bernardo Vasconcelos que foi construído consideravelmente acima do nível da rua para não ser inundado. Esse estabelecimento é, inclusive, local de abrigo de pessoas nos momentos de inundação.

As informações obtidas através do jornal confirmam as informações obtidas através dos depoimentos. Os cidadãos vivem com medo das inundações em locais que frequentam ou moram, e precisam sempre estar atentos a esses eventos para poderem evitar maiores desastres. Todos os resultados apresentados demonstram que a situação atual é crítica e, além do mapeamento de áreas susceptíveis a inundações, ações mitigadoras e, principalmente, de prevenção, devem ocorrer.

De acordo com o Jornal Estado de Minas (2015), a prefeitura de Belo Horizonte, através da SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital) são praticadas intervenções

para prevenção e combate a inundações, com o total de R\$ 1,6 bilhão investidos entre 2009 e 2015.

Segundo o Jornal O tempo (2015), obras e projetos visando à prevenção a inundações são executados na cidade de Belo Horizonte, especialmente em pontos críticos na cidade, entre eles próximos às avenidas Cristiano Machado e Bernardo Vasconcelos. Essas obras incluem: muros de contenção, tratamento de encostas, limpeza de bocas de lobo, alterações de seções de canais, construção de reservatórios de detenção, implantação de paisagismo com vegetação, desapropriação de lotes e remoção de famílias. Especificamente, na Região Nordeste da cidade serão realizadas obras que incluem a ampliação das seções de canais, adequação das declividades do Córrego Cachoeirinha e do Ribeirão da Onça, a retirada de famílias vulneráveis a inundações e paisagismo. Todavia, estas obras possuem previsão de término apenas para o segundo semestre de 2017 devido a sua grande complexidade e porte. Juntamente com obras no Ribeirão da Pampulha, essas obras possuem orçamento de 442,3 milhões de reais.

Parte das soluções para esse relevante problema das inundações é o proposto pela prefeitura de Belo Horizonte, como realizar limpeza de bocas de lobo, construir reservatórios de detenção, aumentar área verde da cidade (principalmente a montante), aumentar seções de canais, e remover famílias das áreas de risco. Todavia, essas obras e projetos necessitam, de fato, serem concretizados.

Um grande defeito das ações por parte de governos e prefeituras, porém, é utilizar a grande maioria dos recursos de proteção a inundações com ações de emergência e reconstrução do que foi destruído. O correto é investir na prevenção a esses desastres, fato que inclusive contribua para a futura economia de recursos com ações emergenciais, possibilitando que o governo invista o valor economizado em outras áreas.

Apesar do importante papel das prefeituras e governos no combate às inundações, o cidadão também possui papel muito importante, principalmente ao dispor os resíduos sólidos de forma correta, para assim evitar o entupimento de galerias e consequente contribuição para a ocorrência de inundação pela má eficiência do sistema de drenagem pluvial da região.

É importante citar algumas dificuldades ao longo da elaboração deste trabalho. Algumas delas se passaram por detalhes no manuseio do software ArcMap 10.2. Todavia, a principal dificuldade a ser citada foi o fato de a elaboração deste trabalho ter acontecido no período que antecedeu as eleições municipais, fazendo com que alguns arquivos e informações que

poderiam complementar este trabalho se tornassem indisponíveis, por exemplo, no portal da prefeitura de Belo Horizonte, entre eles a carta de inundação da cidade.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou ser possível a identificação de áreas susceptíveis a inundação na Região Nordeste de Belo Horizonte, utilizando-se técnicas de geoprocessamento.

O mapa de susceptibilidade a inundação obtido neste trabalho consistiu-se em uma alternativa importante para mapear inundações e, conseqüentemente, em uma importante ferramenta na precaução e na mitigação desses eventos.

Por este motivo, o mapeamento das áreas susceptíveis a inundação é capaz de ser uma ferramenta de grande auxílio no planejamento urbano.

Pode-se concluir, também, que o geoprocessamento possui uma ampla gama de possibilidades de uso, e através dele é possível a determinação da susceptibilidade de inundação de diversas áreas.

Este trabalho mostrou que a união de informações como altimetria, declividade e uso do solo da região é capaz de determinar a susceptibilidade à inundação do local. Entretanto, é sabido que esses não são os únicos fatores que influenciam na ocorrência de inundação. Também influenciam, por exemplo, a eficiência da rede de drenagem e a intensidade da chuva no dia do evento.

Os resultados deste trabalho também mostraram que a Região Nordeste de Belo Horizonte possui relevantes áreas com grande possibilidade de ocorrência de inundações, e foram confirmadas através de relatos de moradores e frequentadores dessas áreas e notícias de jornais.

Também foi possível verificar que a prefeitura de Belo Horizonte está ciente desses problemas e realiza obras e projetos para solucioná-los. Porém, a maioria deles, sobretudo na Região Nordeste, não deve ficar pronto antes do segundo semestre de 2017.

Portanto, pode-se verificar que as ferramentas de geoprocessamento são muito importantes na identificação de áreas susceptíveis a inundação e podem ser bastante exploradas em diversas áreas da Engenharia Ambiental e Sanitária.

6 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Baseando-se neste trabalho, são sugeridos para trabalhos futuros:

- Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação de qualquer município por inteiro;
- Comparar os resultados obtidos neste trabalho com os mapas de inundação da cidade de Belo Horizonte, quando os mesmos forem disponibilizados pela prefeitura após o período eleitoral;
- Utilizar as técnicas deste trabalho aliados a dados meteorológicos para determinação de susceptibilidade a inundação do local por um período de tempo;
- Identificar, em determinada área de risco, quantas moradias poderiam ser atingidas em caso de eventos de inundação;
- Utilizar técnicas de geoprocessamento para mapear moradias de risco e auxiliar na determinação de famílias com necessidade de remoção;
- Determinar áreas de risco de determinada região unido informações de risco de inundação e deslizamentos.

7 BIBLIOGRAFIA

AHMED, Z.; RAO, R.M.; REDDY, K.R.M.; RAJ, Y.E. Urban flooding – case study of Hyderabad. **Global Journal of Engineering, Design and Technology**: v. 2, n. 4, p. 63-66, jul. 2013.

AMARAL, R. RIBEIRO, R.R. Enchentes e Inundações. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.), **Desastres Naturais, conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, p. 40-53, 2009.

BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). **Geomática e análise ambiental**. Vitória, ES: EDUFES. p. 32-46, 2007.

BORGES, M. P.; CRUVINEL, A. S.; FLORES, W. M.; BARBOSA, G. R. Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5897-5903.

BRANDÃO, J.R.L. **Desenvolvimento e mudança social**: formação da sociedade urbano-industrial no Brasil. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. ; GUASSELLI, L. A.; QUEVEDO, R. P.; SIRANGELO, F. R. Suscetibilidade a inundações no município de Encantado/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 17. **Anais...** João Pessoa: Brasil, p. 2790-2797, abril, 2015.

CAMARA, G. MEDEIROS, J. Geoprocessamento para Projetos Ambientais In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

CANO, W. **Desequilíbrios regionais e concentração industrial no Brasil: 1930-1970**. Rio de Janeiro: Global, 1985.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 115 p. Disponível em <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CHAMPS, J. R. Inundações urbanas em Belo Horizonte. Ocorrências, controle e medidas de proteção. **Aqua-LAC**, v. 4, n. 2, p. 1-6, setembro, 2012.

CHAVES, I. S. B.; PEIXOTO FILHO, Getúlio Ezequiel. Identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações na Região Administrativa Fercal (RA XXXI). *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR*, 17. **Anais...** João Pessoa-PB, Brasil, p.7036-7043, abril, 2015.

ESTADO DE MINAS. Belo Horizonte, 30 out. 2015. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/10/30/interna_gerais,702952/alagamento-e-ameaca-em-88-enderecos-de-belo-horizonte-saiba-quais.shtml>. Acesso em: 27 ago. 2016.

ESTADO DE MINAS. Belo Horizonte, 27 set. 2016. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2016/09/27/interna_gerais,808073/moradores-de-bh-contam-como-enfrentam-inundacoes.shtml>. Acesso em: 5 out. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Site que trás uma série de informações sobre os municípios brasileiros. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/5N7>> Acesso em: 15 mai. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**, Manuais Técnicos de Geociências, n. 4. Rio de Janeiro, 2005.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas de Belo Horizonte**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>> Acesso em: 18 mai. 2016.

JATOBÁ, S. U. S. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. *In. Boletim regional, urbano e ambiental* / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais. – n. 1 (dez. 2011). Brasília: Ipea, Dirur, 2011.

LUCAS, T. P. B.; ABREU, M. L. Caracterização climática dos padrões de ventos associados a eventos extremos de precipitação em Belo Horizonte - MG. **Cadernos de Geografia**, Belo Horizonte: v. 14, n. 23, p. 135-152, 2004.

MAGALHAES, I. A. L. ; AGRIZZI, D. V. ; THIAGO, C. R. L. ; SANTOS, A. R. . **Metodologias Distintas para Mapeamento das Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES, Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. In: Alexandre Rosa dos Santos; João Batista Esteves Peluzio; Telma Machado de Oliveira Peluzio; Gleissy Mary Amaral Dino Alves dos Santos. (Org.). Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais. 1ed. Alegre, ES: CAUFES, v. 1, p. 114-125, 2012.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M.S. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – Um estudo de caso**. XLI SBPO – Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. p. 1778-1788, 2009.

MATOS, R. Migração e urbanização no Brasil. **Geografias**. Belo Horizonte. v.8, p. 7-23, 2012.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. 536p.

MORAES, I. R. O Processo de Urbanização e O Estudo De Impacto De Vizinhança – EIV. **Blog Direito Urbanístico Brasileiro**, jun. 2010. Disponível em: <<http://infocidade.blogspot.com/2010/06/estudo-previo-de-impacto-de-vizinhanca.html>>. Acesso em: 14 mai. 2016.

MOREIRA, J. L. B.; ABREU, M. L. Distribuição espacial da precipitação sobre a região metropolitana de Belo Horizonte – MG e sua associação com a topografia local. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

O TEMPO. Belo Horizonte, 28 out. 2015. Disponível em: <<http://www.otempo.com.br/cidades/pbh-detalha-situa%C3%A7%C3%A3o-das-obras-e-a%C3%A7%C3%B5es-para-o-per%C3%ADodo-chuvoso-1.1152081>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. *In*: SANTOS, R. F. dos (org.) **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

PROJETO PLANÁGUA, 2001. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro** - Uma Abordagem Geral - Rio de Janeiro: SEMADS - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; SERLA - Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. 2001. 159p.

ROSOT, M. A., BARCZAK, C. L. e COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubiá ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento.** *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 6., 2000, Florianópolis. Resumos expandidos. Santa Catarina: COBRAC, p. 1-12, 2000.

ROTTERDAN, M. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; **Considerações sobre métodos de decisão multicritério.** São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, 2000.

SAATY, T. L. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation.** New York: Mcgraw-Hill, 1980. 287 p.

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais.** Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5435-5442. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.56>>. Acesso em: 19 mai. 2016.

SOBRAL, H. R. **O meio ambiente e a cidade de São Paulo.** São Paulo: McGraw Hill, 1996.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL – SUDECAP. **Carta de Inundações de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, janeiro, 2013. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=sudecap&tax=17792&lang=pt_BR&pg=5581&taxp=0>. Acesso em: 12 abr. 2016.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. *In*: Tucci, C. E. M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, v.5, p.15-36, 1995.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. **Inundações Urbanas na América do Sul**, Porto Alegre: ABRH, p. 45-129, 2003.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

U. S. Geological Service – USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 18 ago. 2016.

U. S. Geological Service – USGS. **Long Term Archive**. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>>. Acesso em: 18 ago. 2016.