



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

HUMBERTO WELTER HARTMANN

**UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO
MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DO MUNICÍPIO DE SANTO ÂNGELO - RS**

CERRO LARGO

2019

HUMBERTO WELTER HARTMANN

**UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO
MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DO MUNICÍPIO DE SANTO ÂNGELO - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Mario Sergio Wolski

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Antônio Vendruscolo

CERRO LARGO

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Hartmann, Humberto Welter

Utilização do geoprocessamento como ferramenta de apoio ao manejo das águas pluviais do município de Santo Ângelo - RS / Humberto Welter Hartmann. -- 2019.
52 f.:il.

Orientador: Doutor Mario Sergio Wolski.

Co-orientador: Doutor Márcio Antônio Vendruscolo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo, RS ,
2019.

1. Drenagem Urbana. 2. Geoprocessamento. 3. Sistema de Informação Geográfica. 4. Modelo Digital do Terreno.
I. Wolski, Mario Sergio, orient. II. Vendruscolo, Márcio Antônio, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

HUMBERTO WELTER HARTMANN

**UTILIZAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO
MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DO MUNICÍPIO DE SANTO ÂNGELO - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

09/07/2019

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Mario Sergio Wolski - UFFS

Orientador



Prof. Dr. Márcio Antônio Vendruscolo - UFFS



Prof. Dra. Juliana Marques Schöntag - UFFS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e pelas incríveis oportunidades.

Aos meus pais, Nelsi Inês Welter Hartmann e Nei Gilberto Hartmann, pelo apoio e dedicação durante toda a minha trajetória dando exemplo de força e determinação, incentivando a continuar mesmo nos momentos difíceis. Ao meu irmão, Gabriel Welter Hartmann, companheiro nas alegrias e batalhas. Ainda, agradeço à todos os meus familiares pelas palavras de confiança e apoio.

Ao meu orientador, professor Mario Sergio Wolski, pela oportunidade, orientações enriquecedoras, confiança, e principalmente, pela amizade construída ao longo do trabalho. Ao coorientador, Márcio Antônio Vendruscolo, pelas valiosas contribuições no trabalho.

À Universidade Federal da Fronteira Sul por toda a infraestrutura de ensino oferecida e à todos os professores que auxiliaram em minha formação ao longo do curso.

À Secretária Municipal de Meio Ambiente de Santo Ângelo, pela oportunidade de estágio e por proporcionar suporte e recursos necessários para a realização deste trabalho, e seus profissionais capacitados que auxiliaram quando lhes foi solicitado ajuda.

Aos meus amigos e colegas de laboratório de geoprocessamento Artur, Augusto e Giovane pelo companheirismo ao longo de todo curso. Agradeço à todos os meus amigos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

RESUMO

Historicamente, as cidades brasileiras apresentam problemas frequentes devido a ocorrência de eventos extremos provocados por precipitações pluviais, como inundações e alagamentos. Esses eventos são consequências do mau gerenciamento da rede de drenagem urbana e do crescimento desordenado e sem planejamento do perímetro urbano. Dentro desse contexto, esse trabalho apresenta-se com o objetivo de gerar informações e mapas temáticos que auxiliem a gestão e planejamento do sistema de drenagem urbana do município de Santo Ângelo, mediante a utilização do geoprocessamento. Santo Ângelo é um município localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul que tem enfrentado problemas de inundações e alagamentos em diversos pontos da área urbana. O geoprocessamento caracteriza-se como um conjunto de métodos e tecnologias capazes de manipular dados georreferenciados. Uma dessas tecnologias são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), programas computacionais que permitem processar dados geográficos. Nesse trabalho elaborou-se uma ficha cadastral para o levantamento das bocas de lobo do município de Santo Ângelo, e gerou-se um Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir da base cartográfica disponível, utilizando-se os SIGs QGIS e ArcGIS. Obteve-se como resultado o cadastramento das bocas de lobo da região central da área urbana, e de algumas regiões periféricas. Gerou-se um MDT consistente que representou muito bem a superfície analisada, possibilitando a interpretação e avaliação do relevo, auxiliando no planejamento e gestão da rede de drenagem do município, e também fornecendo mapas de declividade e hipsométrico. Conclui-se com este trabalho que o sistema de drenagem do município não é adequado, apresentando falta de planejamento e manutenção nos dispositivos hidráulicos, além de demonstrar que o geoprocessamento pode ser uma ferramenta útil no manejo das águas pluviais e na gestão do saneamento básico do município.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Geoprocessamento. Sistema de Informação Geográfica. Modelo Digital do Terreno.

ABSTRACT

Historically, Brazilian cities have frequent problems due to the occurrence of extreme events caused by rainfall precipitation, such as flooding and inundation. These events are a consequence of poor management of the drainage network and disorderly growth without proper planning of the urban perimeter. Within this context, this research aims to generate thematic maps and data in order to help the management and planning of the urban drainage system in the city of Santo Ângelo, through the use of geoprocessing. Santo Ângelo is a city located in the northwest region of the state of Rio Grande do Sul that has faced problems of inundation and flooding in several points of the urban area. Geoprocessing is characterized as a set of methods and technologies capable of manipulating georeferenced data. One of these technologies are the Geographic Information Systems (GIS), computer programs that can process geographic data. In this research, a registration form was developed for the cataloging of storm drains in the city of Santo Ângelo, and a Digital Terrain Model (DTM) was generated from the cartographic data available, using the GISs QGIS and ArcGIS. As a result, the drains of the central region of the urban area, and some peripheral regions, were cataloged. A consistent DTM that reliably represented the analyzed surface was generated, allowing the interpretation and evaluation of the relief, assisting in the planning and management of the drainage network of the city, and also providing a hypsometric map and a map of slope. This research concludes that the city drainage system is not adequate, presenting a lack of planning and maintenance in the hydraulic devices, further demonstrating that geoprocessing can be a useful tool in the management of rainwater and in the management of the basic sanitation of the city.

Keywords: Urban Drainage. Geoprocessing. Geographic Information System. Digital Terrain Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características dos leitos dos rios	17
Figura 2 - Efeito de áreas urbanizadas sobre a vazão máxima.....	18
Figura 3 - Representação do "Mundo Real" através de uma série de mapas sobrepostos.....	19
Figura 4 - Diferença entre MDS e MDT: (a) MDS; (b) MDT	23
Figura 5 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.....	25
Figura 6 - Mapa de situação e localização da área de estudo	26
Figura 7 - Materiais utilizados no cadastramento das bocas de lobo: (a) rastreador GNSS de navegação, (b) trena, e (c) máquina fotográfica	29
Figura 8 - Régua confeccionada para a verificação dos diâmetros das tubulações.....	30
Figura 9 - Mapa das vias percorridas durante o período de cadastramento das bocas de lobo	35
Figura 10 - Processo de cadastramento das bocas de lobo	36
Figura 11 - Exemplo de bocas de lobo cadastradas.....	37
Figura 12 - Mapa das bocas de lobo cadastradas.....	38
Figura 13 – Resultado do processo “Mesclar camadas vetoriais”	39
Figura 14 - Exemplo de curvas de nível da área urbana de Santo Ângelo	40
Figura 15 - Resultado da suavização das curvas de nível.....	41
Figura 16 - Comparação do número de vértices antes e após a simplificação de geometrias..	41
Figura 17 - Inconsistências verificadas na hidrografia da base cartográfica digital.....	42
Figura 18 - Resultado da vetorização da hidrografia.....	42
Figura 19 - Direcionamento do fluxo da drenagem da hidrografia	43
Figura 20 - MDTHC da área urbana de Santo Ângelo - RS.....	44
Figura 21 - Mapa hipsométrico da área urbana de Santo Ângelo – RS	45
Figura 22 – Mapa de relevo da área urbana de Santo Ângelo - RS.....	46
Figura 23 - Mapa de declividade da área urbana de Santo Ângelo – RS	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivos específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	DRENAGEM URBANA NO BRASIL	11
2.1.1	Microdrenagem	12
2.1.2	Macrodrenagem	13
2.1.3	Conceito de drenagem urbana sustentável	14
2.2	OCORRÊNCIA DE INUDAÇÕES E ALAGAMENTOS	15
2.2.1	Inundações de áreas ribeirinhas	17
2.2.2	Inundações e alagamentos devido a urbanização	17
2.3	GEOPROCESSAMENTO E SIG	19
2.4	MODELO DIGITAL DO TERRENO	22
3	METODOLOGIA	25
3.1	PLANEJAMENTO DO TRABALHO	25
3.1.1	Caracterização da área de estudo	26
3.2	ELABORAÇÃO DA FICHA CADASTRAL DAS BOCAS DE LOBO	27
3.3	CADASTRO DAS BOCAS DE LOBO	29
3.4	ESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL	30
3.5	ESTRUTURAÇÃO DO MDT	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1	CADASTRO DAS BOCAS DE LOBO	34
4.2	ESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL	39
4.3	ESTRUTURAÇÃO DO MDT	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A – FICHA CADASTRAL	52

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, as cidades brasileiras apresentaram um expressivo crescimento da população urbana, principalmente nas regiões metropolitanas. De acordo com Britto (2006), a grande expansão urbana brasileira ocorreu na segunda metade do século XX, quando na década de 1960 a população urbana passou de 19 milhões para 138 milhões de habitantes, superando a população rural. Ainda segundo o autor, a expansão urbana no Brasil é caracterizada pela formação de grandes regiões metropolitanas, a exemplos de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, entre outras cidades.

No ano de 2017, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentou uma nova divisão regional do Brasil, na qual as Regiões Geográficas passaram a ser divididas em duas escalas: Região Geográfica Intermediária e Região Geográfica Imediata, substituindo as divisões de Mesorregião e Microrregião. A Região Geográfica Imediata de Santo Ângelo abrange um total de 8 municípios, sendo eles Giruá, Sete de Setembro, Guarani das Missões, Santo Ângelo, Vitória das Missões, Entre-Ijuís, São Miguel das Missões e Eugênio de Castro (IBGE, 2017). De acordo com o Censo Demográfico de 2010, a região possui uma população de 126.231 habitantes (IBGE, 2010).

O crescimento da população urbana não foi acompanhado por um planejamento e gestão adequada de urbanização. Segundo Tucci (2002), o crescimento urbano brasileiro vem sendo caracterizado pelo aumento da periferia nas cidades, com pouca ou nenhuma obediência às normas de loteamento e ocupação. Isso levou ao desenvolvimento de aglomerados populacionais em áreas de mananciais, especialmente pela população de baixa renda.

O processo acelerado e descontrolado de urbanização transformou as cidades em grandes áreas impermeáveis, expondo a população a problemas de drenagem urbana. Ano após ano, a sociedade brasileira sofre com as cheias que ocasionam enchentes e alagamentos em bairros, provocando enormes inconvenientes para a população, além de perdas materiais, e em alguns casos, levando pessoas a óbito.

A impermeabilização do solo tem-se mostrado um fator preponderante para a ocorrência de cheias. O aumento de superfícies impermeáveis, como a pavimentação asfáltica, construção de vias e calçadas, e a edificação de casas e prédios, impede que a água da chuva infiltre no solo, causando aumento no volume de água acumulada na superfície e aumento na velocidade de escoamento da mesma. Aliado a isso, temos como solução uma prática bem comum no Brasil para os problemas de drenagem urbana, que é a canalização de rios e córregos.

Essa prática consiste na impermeabilização da calha do corpo hídrico para diminuir o atrito com a água, e assim aumentar a velocidade de escoamento do leito, com a intenção de carregar a água a montante para a jusante mais rapidamente. Essa solução tem-se mostrado ineficiente, pois apenas transfere a inundação para jusante, podendo impactar locais que não apresentavam problemas ou potencializar inundações que já ocorriam.

As soluções baseadas apenas em projetos e obras hidráulicas, como a canalização de rios, construção de reservatórios e a elaboração de redes de drenagem urbana, ajudam a resolver boa parte dos problemas relacionados ao manejo de águas pluviais. No entanto, a experiência demonstrou que medidas como essas apresentam pouca “vida útil”, além de requererem um alto valor de investimento para a sua execução, tornando-se assim obras onerosas e ineficientes (PORTO et al., 2015).

A partir desse contexto, surgiu o conceito de drenagem urbana sustentável, que visa promover a gestão integrada do manejo de águas pluviais urbanas com o meio ambiente, e os outros setores de saneamento básico. As unidades de planejamento passam a ser as bacias hidrográficas, e as medidas de mitigação partem do princípio de soluções compensatórias.

Para que esse conceito possa ser aplicado, é necessário que se conheça a bacia hidrográfica a qual o município está inserido. Sendo assim, o geoprocessamento apresenta-se como uma ciência útil nesse processo, pois reúne uma série de tecnologias que permitem, de forma rápida e prática estudar o espaço geográfico e seus aspectos ambientais. Além disso, possibilita investigar e mapear os objetos que compõe uma área de interesse para ajudar em tomadas de decisões, planejamentos e gestão dessas áreas.

Por meio de uma ferramenta computacional chamada Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é possível construir representações do terreno utilizando dados espaciais e geográficos, possibilitando o estudo e análise das características morfométricas do terreno da área de interesse, como declividade, altimetria e as formas do relevo. Uma das representações matemáticas de terreno são os Modelos Digitais do Terreno (MDT) que utilizam as bases cartográficas da região de interesse para construir modelos matemáticos e tridimensionais de uma superfície.

O município de Santo Ângelo tem enfrentado problemas com frequentes alagamentos em vários pontos na cidade. O atual sistema de drenagem urbana revela-se insuficiente para a demanda exigida, além de apresentar problemas em sua estrutura e manutenção (estruturas hidráulicas de drenagem urbana em péssimas condições, além do despejo de esgoto residencial e descarte de resíduos sólidos no sistema pluvial). Portanto, o presente trabalho visa contribuir com o gerenciamento das águas urbanas no município por meio de técnicas de

geoprocessamento para realizar um cadastramento das bocas de lobo do município, estruturar um Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Correto (MDTHC) e elaborar mapas temáticos, como hipsométrico e declividade da área urbana.

1.1 OBJETIVOS

Utilizar técnicas de geoprocessamento para gerar produtos que auxiliem no manejo das águas pluviais e no gerenciamento do sistema de drenagem urbana do município de Santo Ângelo – RS.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) Cadastramento das bocas de lobo de Santo Ângelo (tipo, dimensões, localização, coordenadas, etc.);
- b) Revisão da base cartográfica disponível;
- c) Desenvolvimento de um Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Correto da área urbana de Santo Ângelo com base nos dados obtidos;
- d) Produção de mapas temáticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção foram contemplados os assuntos que são necessários para a compreensão da metodologia do trabalho. Foram abordados assuntos como a drenagem urbana no Brasil e seus problemas, definição e aplicação de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas, além da definição de Modelo Digital do Terreno.

2.1 DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Ao longo de toda a história os seres humanos procuraram ocupar as margens de corpos d'água, pois estes apresentavam-se como uma fonte abundante de água, elemento determinante para a existência humana (TOMINAGA, 2013). Segundo Baptista e Nascimento (2002), os corpos hídricos forneciam a água para abastecimento, eram uma via natural de transporte e comunicação, compreendiam em uma fonte de energia para indústrias, traziam facilidade para o despejo dos resíduos gerados, além de serem uma defesa natural contra invasores.

Porém, essa proximidade com os corpos hídricos, aliada às atividades desenvolvidas pelos aglomerados populacionais, ofereceu riscos a população em decorrência das inundações naturais. Com o crescimento e desenvolvimento das cidades, esses riscos deixaram de estar relacionados somente a inundações naturais, passando a ser problemas referente a longos tempos de concentrações das águas provenientes de precipitações pluviométricas.

Outro fator importante foi a utilização das águas fluviais para a higiene e despejo dos esgotos cloacais. Essa prática recebeu o nome de higienista, onde o principal objetivo é a descarga rápida das águas pluviais, evitando expor a população à problemas de inundações e alagamentos. A concepção higienista tornou-se a base dos sistemas clássicos de drenagem urbana utilizados no Brasil (TOMINAGA, 2013).

Porto et al. (2015) definiu o termo drenagem urbana como um conjunto de medidas com o objetivo de minimizar os riscos que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. A Lei Federal nº 11.445 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007) define drenagem e manejo de águas pluviais urbanas como conjunto de atividades, infraestruturas e instalações, transporte, detenção ou retenção, tratamento e disposição final das águas pluviais.

Os sistemas de drenagem urbana, junto com as redes de abastecimento de água, coletas de esgoto sanitários, cabos elétricos e telefônicos, entre outros, formam um conjunto de melhoramentos públicos. Mas, diferente dos outros serviços, o sistema de drenagem urbana

apresenta uma particularidade: o escoamento superficial das águas pluviais sempre ocorrerá, independentemente da existência ou não de um sistema de drenagem (SÃO PAULO, 1999).

Os sistemas de drenagem urbana podem ser divididos em duas situações de acordo com o seu dimensionamento: microdrenagem e macrodrenagem. A diferença entre as duas definições nem sempre é nítida, mas pode-se descrever microdrenagem com áreas onde o escoamento natural não é bem definido, sendo assim determinado pela ocupação do solo. A macrodrenagem pode ser caracterizada como os escoamentos em fundos de vale, delimitado por bacias com áreas de pelo menos 5 km², abrangendo (PORTO et al., 2015). Tais definições serão apresentadas a seguir com maior detalhamento.

2.1.1 Microdrenagem

A rede de microdrenagem, também conhecida como sistema inicial de drenagem ou coletor de águas pluviais é formada por condutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou rede primária urbana associada ao sistema viário. É projetada para atender à drenagem de precipitações com risco baixo ou moderado, que apresentam vazões de retorno de 2 a 10 anos (SÃO PAULO, 1999; PORTO ALEGRE, 2005; BRASIL, 2006).

De acordo com Porto et al. (2015), os elementos básicos que compõe um sistema de microdrenagem pluvial são:

- Galeria: são canalizações públicas, de seção quadrada ou circular, destinadas a conduzir as águas pluviais vindas das bocas de lobo e das ligações privadas. As galerias de seção circular devem possuir um diâmetro mínimo de 0,30 m, podendo chegar até valores de 1,50 m. Devem ser projetadas para o funcionamento à seção plena para a vazão de projeto;
- Poço de Visita: são dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias (união de várias galerias, por exemplo) para permitir mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro, inspeção e limpeza das tubulações, evitar longos trechos, e devem estar ligados às bocas de lobo;
- Trecho: conjunto de galerias situadas entre dois poços de visita;
- Boca de lobo: estrutura localizada em pontos estratégicos junto as sarjetas para a captação das águas pluviais e conduzi-las até as galerias. São classificadas em três tipos: bocas ou ralos de guias, ralos de sarjetas (grelha) e ralos combinados.

- Tubos de ligação: são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para as galerias ou poços de visita;
- Meio-fio: estrutura de pedra ou concreto colocada entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com a parte superior no mesmo nível do passeio;
- Sarjetas: calha receptora de águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam. São localizadas nas faixas de via pública, paralelas ao meio-fio;
- Sarjetões: calhas localizadas nos cruzamentos das vias públicas, formadas pela própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.

2.1.2 Macro drenagem

Define-se macro drenagem como as intervenções realizadas em fundos de vales, onde normalmente o escoamento é bem definido, que reúnem as águas pluviais originadas do sistema de micro drenagem ou não. As obras de macro drenagem buscam evitar as enchentes e alagamentos ocorridos em função da bacia urbana, sendo assim caracterizadas por construções de canais que possuem maior capacidade de transporte de água do que o canal natural e bacias de contenção (PORTO et al., 2015).

A macro drenagem envolve sistemas coletores de diferentes sistemas de micro drenagem, abrangendo áreas de pelo menos 2 km² ou 200 ha (tais valores podem alterar dependendo da malha urbana e da bibliografia consultada). O sistema de macro drenagem deve ser projetado com capacidade superior ao de micro drenagem, de modo que leve em consideração os riscos de acordo com os prejuízos humanos e de materiais (PORTO ALEGRE, 2005).

De acordo com o manual Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (SÃO PAULO, 1999), os projetos de canalização de sistemas de macro drenagem devem adotar no mínimo 25 anos para o período de retorno das vazões considerando todas as folgas necessárias para acomodar eventuais efeitos de perda de carga localizadas, efeito de curvatura e ondulações. Para fim de segurança, as galerias e canalizações devem comportar vazões com períodos de retorno de 50 anos, e nas áreas mais baixas deve-se projetar o sistema de macro drenagem com período de retorno de 100 anos.

Tanto os sistemas de macro drenagem como os sistemas de micro drenagem devem ser projetadas adequadamente, levando em considerações todas as variáveis do terreno, urbanização e dados de precipitação para que as estruturas sejam dimensionadas

adequadamente. Além disso, os sistemas de drenagem urbana devem passar por processos de limpeza e manutenção periodicamente para que o seu funcionamento seja garantido, evitando interrupções, assoreamento das galerias e canais, desmoronamentos e outros inconvenientes.

2.1.3 Conceito de drenagem urbana sustentável

Durante muito tempo, as práticas clássicas, ou higienistas, adotadas para a gestão e manejo das águas pluviais urbana no Brasil apresentaram-se como soluções eficientes no controle de enchentes e alagamentos. Baptista e Nascimento (2002) destacam que as práticas higienistas colaboraram na redução das contaminações de doenças de veiculação hídrica e auxiliaram na melhora da qualidade de vida no meio urbano através do desenvolvimento de cálculos hidráulicos, métodos hidrológicos que possibilitam prever e estimar eventos extremos, além da evolução de técnicas e medidas para a concepção de projetos de drenagem.

Porém, as práticas higienistas mostraram limitações ao passo que o desenvolvimento urbano acelerava, tornando-se insuficientes no controle de enchentes e alagamentos. É comum presenciarmos ou vermos no noticiário, cidades brasileiras com grandes obras de drenagem sofrendo com problemas graves e decorrentes de inundações, alagamentos e, em alguns casos, até enxurradas. Esses problemas são atrelados principalmente a dois tipos de erros: projetos de drenagem desenvolvidos apenas com base nas ideias clássicas; e avaliação e controle por trechos, ações de projetos que aumentam e transferem as vazões para jusante (BRASIL, 2006).

A partir desse contexto surgiu uma nova abordagem para o manejo das águas pluviais, fundamentada em conceitos sustentáveis que visam reduzir e melhorar os escoamentos na bacia hidrográfica. Pompêo (2000, p. 19) afirma que

durante as últimas três décadas, a percepção da degradação ambiental generalizada e a crítica aos estilos de desenvolvimento apoiados em uma exploração irracional da natureza vêm motivando numerosas discussões e novas propostas que permitam a sobrevivência do ser humano. Aqueles muito otimistas não reconhecem a dimensão destas questões e preferem esquecer os problemas, acreditando que alguma solução tecnológica poderá advir no futuro. Outros, mais realistas, avisando que a Terra é o único planeta habitado conhecido, preferem propor desde já. Sob este pensamento surgiu o desenvolvimento sustentável, um estilo de desenvolvimento voltado para a sustentabilidade, conceito que estende-se a tudo, inclusive à drenagem urbana.

Para o autor, a associação entre sustentabilidade e drenagem urbana apresenta uma nova perspectiva para as ações no manejo de águas pluviais, que serão baseadas nas relações entre o meio ambiente, as áreas urbanizadas e a sociedade. Essa ideia obriga uma revisão na gestão e nos conceitos técnicos da drenagem e controle de enchentes, uma vez que a análise não se

passará somente pelos sistemas de drenagem, mas levará em consideração todo o meio envolvido.

O manual Gestão de Águas Pluviais Urbanas (BRASIL, 2006) traz uma série de princípios e ações para o controle do escoamento superficial das águas urbanas baseados no conceito da drenagem urbana sustentável. Alguns estão listados a seguir:

- Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: os planos de controle de águas pluviais devem contemplar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve, sendo assim, as medidas adotadas não podem reduzir os impactos de uma área e prejudicar outra, ou seja, os impactos não podem ser transferidos de uma área para outra;
- Medidas de controle no conjunto da bacia: o controle de enchentes envolve medidas estruturais e não-estruturais. As medidas estruturais podem ser soluções para algumas situações, mas devem ser acompanhadas de uma visão de conjunto da bacia, de modo que sejam integradas as medidas não-estruturais, que possuem caráter preventivo, e compatibilizadas com o desenvolvimento urbano;
- Os meios: Plano Diretor Urbano, Legislações municipais e estaduais, e manuais de drenagem urbana são alguns meios necessários para a implantação de um controle de enchentes adequado;
- Critérios sustentáveis: a cheia natural não deve ser ampliada por quem ocupa a bacia, independente de que for e qual a natureza da obra. A urbanização e a drenagem devem priorizar os mecanismos naturais do escoamento.

É possível perceber que a sustentabilidade na drenagem urbana tem por objetivo integrar o planejamento urbano com as atividades relacionadas a água no meio urbano. Isso demonstra um avanço nas questões de manejo e controle de enchentes, pois a filosofia sustentável preconiza ações voltadas para fonte do problema, de forma que possam evitar problemas futuros.

2.2 OCORRÊNCIA DE INUDAÇÕES E ALAGAMENTOS

O crescimento acelerado e não planejado da população urbana brasileira, iniciado na segunda metade do século XX, tem ocasionado impactos significativos no ambiente que

interferem diretamente no cotidiano da população. Santos, Rufino e Barros Filho (2017) afirmam que a ocupação do solo sem um planejamento de urbanização acarretam em diversos impactos ambientais negativos, dentre eles:

- a) Sobrecarga no sistema de drenagem urbana ocasionada pela diminuição da infiltração do solo;
- b) Diminuição da infiltração da água devido a perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, aumentando a sua quantidade e velocidade de escoamento;
- c) Diminuição da qualidade e escassez dos recursos hídricos;
- d) Acúmulo de resíduos sólidos nos sistemas de drenagem urbana, resultando na obstrução destes e ocasionado o transbordamento da água em períodos de chuva.

É notável que esses impactos deterioram a qualidade de vida da população através do aumento de inundações e alagamentos em termos de frequência e magnitude. As inundações ocorrem quando as águas de corpos hídricos e das galerias pluviais extravasam o seu leito de escoamento devido a falta de capacidade de transporte destes sistemas (TUCCI, 2003). Os alagamentos define-se como o acúmulo de água por um período de tempo em um determinado local, decorrentes de problemas de deficiência no sistema de drenagem devido ao baixo coeficiente de escoamento superficial (SANTOS, 2010).

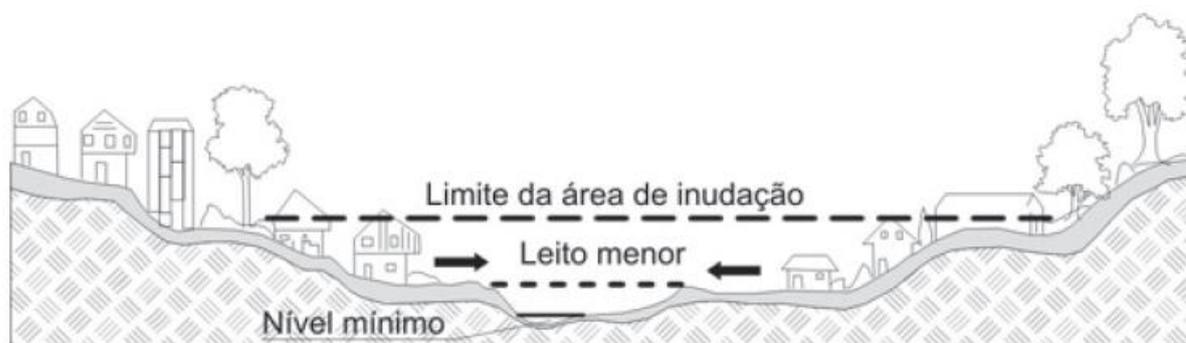
Esses desastres podem ser resultados de projetos de sistemas de drenagem urbana inadequados e/ou mal executados, pois segundo Souza, Moraes e Borja (2013 p. 163), são baseados nos princípios de “[...] recolher as águas da chuva e conduzi-las para jusante o mais rapidamente possível”, ou podem ser decorrentes de chuvas intensas de longos períodos de retorno, ou ainda por transbordamentos de cursos d’água provocados por mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas, conforme ressalta Pompêo (2000)

O fato é que com o surgimento das cidades, o percurso da água na superfície passou a ser determinado pelo traçado das ruas, fazendo com que o seu comportamento seja de maneira bem diferente comparado ao comportamento no terreno anterior à modificação topográfica (SILVA, 2007). De acordo com Tucci (2008) o escoamento das águas pluviais pode produzir inundações e alagamentos nas áreas urbanas em razão de dois processos que podem ocorrer combinados ou de forma isolada, são eles: inundações de áreas ribeirinhas e inundações devido a urbanização.

2.2.1 Inundações de áreas ribeirinhas

Geralmente os rios possuem dois leitos, um leito menor onde a água escoar na maior parte do tempo, e um leito maior que é inundado com risco de 1,5 a 2 anos. Os impactos devido a inundação estão associados com o grau de ocupação da população nessas áreas, conforme a Figura 1. Esse tipo de inundação ocorre normalmente em bacias de médio e grande porte, com áreas acima de 100 km² (TUCCI, 2008).

Figura 1 - Características dos leitos dos rios



Fonte: Tucci (2008)

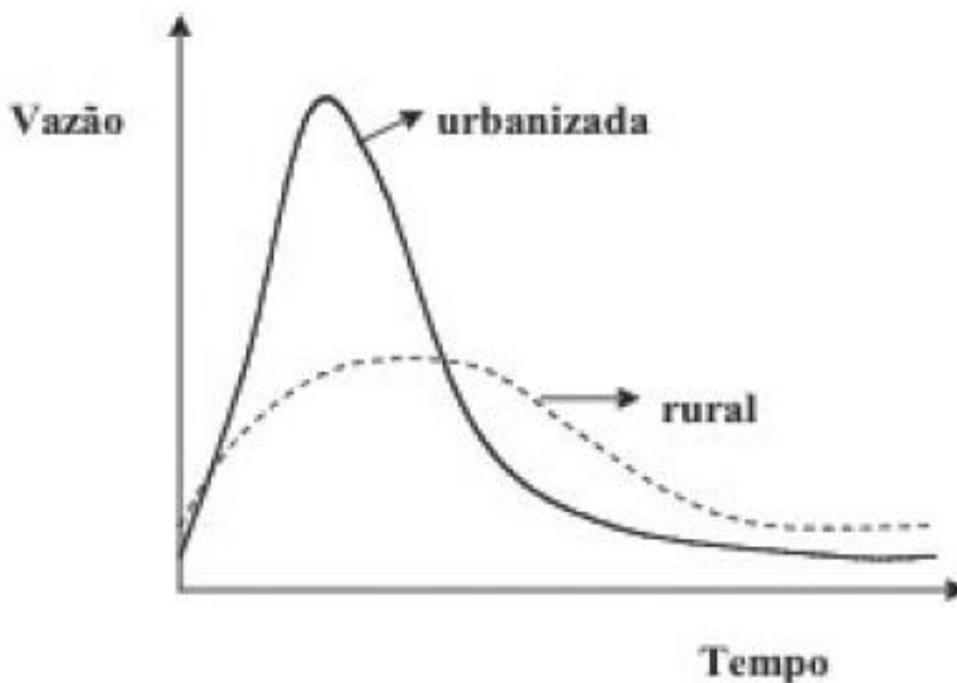
O crescimento desordenado das cidades resultou na ocupação de áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais mais seguros, ao contrário da população mais carente, que ocupa as áreas de maior risco a inundação, causando problemas sociais que se repetem a cada cheia. Quando a frequência das inundações possui um índice baixo, a população ganha confiança e acaba desprezando o risco, aumentando a ocupação nas áreas inundáveis, fazendo com que as inundações assumam características catastróficas (TUCCI, 2015).

2.2.2 Inundações e alagamentos devido a urbanização

O aumento da frequência e magnitude dos alagamentos e inundações são consequência da impermeabilização do solo e da construção da rede de condutos que compõe o sistema de drenagem urbana. A urbanização produz obstruções no escoamento através de aterramentos, pontes, drenagens inadequadas, assoreamentos e obstruções nos condutos (TUCCI, 2008). Para Porto et al. (2015), as alterações do escoamento superficial direto são as principais consequências da urbanização sobre a drenagem urbana. O autor afirma que essas alterações

podem ser críticas, pois com o aumento de áreas urbanizadas, há um crescimento das vazões máximas, conforme pode-se observar na Figura 2.

Figura 2 - Efeito de áreas urbanizadas sobre a vazão máxima



Fonte: Tucci (2008)

Segundo Fontes e Barbassa (2003) o processo de urbanização resulta em altas modificações no uso do solo que provocam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração. Os autores destacam que as bacias urbanas possuem uma grande parcela da superfície impermeabilizada pelas edificações, vias e pisos, que por sua vez produzem aceleração no escoamento, através das canalizações e da drenagem superficial.

Justino, de Paula e Paiva (2011) afirmam que a condição de escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração quando o solo, antes permeável, torna-se em uma superfície impermeabilizada, ou ao menos sofre alterações na declividade de terrenos e fundos de corpos d'água, por meio da construção de edificações, execução de pavimentos e quaisquer outras obras. Fica claro que o processo de urbanização trás sérias consequências no manejo das águas pluviais, uma vez que, independente da intensidade da precipitação, as inundações e os alagamentos tendem a serem cada vez mais frequentes devido a diminuição da infiltração do solo.

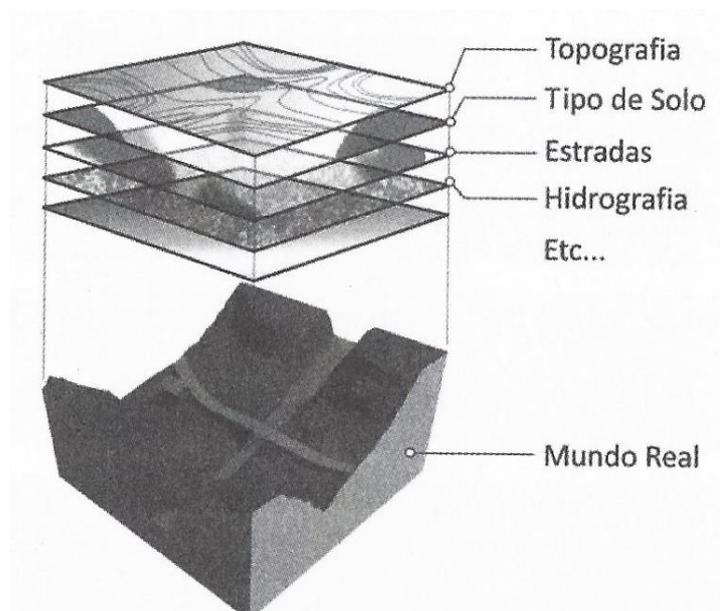
2.3 GEOPROCESSAMENTO E SIG

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias, conceitos, métodos e técnicas que tornam possível a análise da Geotopologia de um ambiente, ou seja, permite investigar sistematicamente as propriedades e relações posicionais de eventos e entidades representados em uma base de dados georreferenciados, transformando dados em informações para auxiliar tomadas de decisões. O geoprocessamento abrange o processamento digital de imagens, cartografia digital e os Sistemas de Informações Geográficas (SILVA e ZAIDAN, 2011; MOURA, 2014).

A Cartografia Digital remete à automação de projetos, captação, organização e desenho de mapas. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) remetem-se à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, sendo assim um sistema de processamento de informações espacial (MOURA, 2014).

De acordo com Mendes e Cirilo (2013) o significado de geoprocessamento vai além das capacidades técnicas de codificar, armazenar e recuperar dados espaciais ou geográficos. Segundo os autores, os dados em um ambiente de geoprocessamento representam o mundo físico (Figura 3), onde cada aspecto, variável, característica e/ou propriedade do mundo real é representado por um único mapa, indicando a natureza, posição relativa e o tamanho da característica selecionada dentro de uma área geográfica.

Figura 3 - Representação do "Mundo Real" através de uma série de mapas sobrepostos



Fonte: Mendes e Cirilo (2013)

Nas últimas décadas, o processamento eletrônico de dados vem sofrendo enormes avanços nas técnicas de captura, armazenamento e exibição de dados. Câmeras digitais, scanners de alta resolução, discos rígidos com alta capacidade de armazenamento e monitores de alta resolução são alguns exemplos dessa evolução. Para o geoprocessamento, esses avanços tecnológicos tem produzido um desenvolvimento de conceitos, metodologias e técnicas, como é o caso da técnica de captura de mapeamentos convencionais preexistentes, antes realizada manualmente e agora é por meio de varredura matricial, processo mais acelerado e com menor margem de erro associado a captura de geometrias e eventos cartografados (SILVA e ZAIDAN, 2011).

De acordo com Longley et al. (2013) os SIGs podem ser definidos como sistemas computacionais idealizados para armazenar e processar informações geográficas, sendo ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Segundo os autores “quase tudo o que acontece, acontece em algum lugar”, sendo assim a localização geográfica é uma propriedade importante para a análise de atividades e fenômenos, políticas, estratégias e planos, e os SIG são sistemas de informações que controlam eventos, atividades e coisas e onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem.

Para Olaya (2014) um SIG deve ser capaz de realizar as operações de: leitura, edição, armazenamento e gerenciamento de dados espaciais; análise dos referidos dados permitindo desde a consulta simples até a elaboração de modelos complexos, por meio de componentes espaciais de dados (localização de cada valor ou elemento) e/ou por componentes temáticos (o valor ou o próprio elemento); gerar resultados como mapas, relatórios, gráficos, entre outros. Desta forma, o autor ressalva que os SIGs apresentam-se como uma maneira mais poderosa e avançada de fazer tudo o que antes era realizado mediante o uso de mapas e cartografia no sentido clássico.

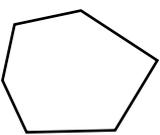
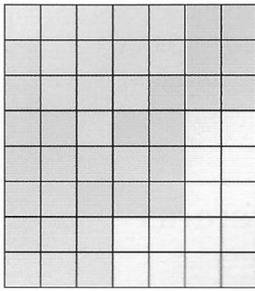
As aplicações de SIG são diversas, envolvendo mapeamento de base topográfica, modelagem socioeconômica e ambiental, modelagem global e ensino. As aplicações podem ser classificadas como tradicionais, em desenvolvimento e novas. As áreas de aplicações mais antigas abrangem militares, governos, ensino e serviços de água e energia. Nas últimas décadas a aplicação de SIG avançou para os setores comerciais como serviços bancários e financeiros, de transporte, logística, imobiliários e análise de mercado. A integração dos SIG com os sistemas de informações corporativas, planejamento e nos sistemas em geral é um pré-requisito fundamental para o sucesso de muitas instituições (LONGLEY et al., 2013).

Os Sistemas de Informações Geográficas permitem separar as informações em diferentes camadas temáticas e armazená-las independentemente, proporcionando ao usuário relacioná-las através da posição e topologia dos objetos, com o objetivo de produzir novas informações. O SIG é uma tecnologia integradora, permitindo relacionar técnicas de Sensoriamento Remoto, Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Mapeamento Automático e Gerenciamento de Serviços (GÓES, 2009).

Segundo Fitz (2008) a utilização de SIG necessita da existência de um banco de dados georreferenciados, ou seja, dados com registros referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. O banco de dados deve ser estruturado de maneira em que os dados possam relacionar-se entre si, e para que isso ocorra, são utilizados códigos identificadores que vinculam os registros dentro do sistema. Existem dois tipos de dados que podem compor um banco de dados de um SIG:

- Dados espaciais: são dados que podem ser representados espacialmente, de forma gráfica. Consistem-se em imagens, mapas temáticos ou planos de informações, e sua estrutura pode ser vetorial ou matricial, definidos no Quadro 1 a seguir (FITZ, 2008):

Quadro 1 - Estrutura de dados espaciais

DADO	DEFINIÇÃO	REPRESENTAÇÃO
Vetorial	- As linhas são capturadas como pontos ligados por linhas perfeitamente retas. Uma área é capturada como uma série de pontos ou vértices conectados por linhas retas. Dentro do SIG os termos polígono e área são utilizados como sinônimos.	- Ponto:  - Linha:  - Polígono: 
Matricial	- O espaço é dividido em uma malha retangular de células (também chamadas de <i>pixels</i>). Toda variação geográfica é expressa atribuindo-se propriedades ou atributos a essas células. Os arquivos de dados matriciais são também chamados de <i>raster</i> .	- Raster: 

Fonte: Elaborado pelo autor (2019), adaptado de Longley et al. (2013)

- Dados alfanuméricos: são dados constituídos por caracteres (letras, números ou sinais gráficos) que podem ser armazenados em tabelas, sendo estas possíveis de formarem um banco de dados. Os dados dispostos em tabelas devem possuir atributos que possam vinculá-los à estrutura espacial do sistema, sendo identificados pelas suas coordenadas, e atributos específicos, com descrição qualitativa ou quantitativa (FITZ, 2008).

2.4 MODELO DIGITAL DO TERRENO

Dentre as informações mais utilizadas quando se lida com recursos naturais, a topografia da área de trabalho é uma das informações mais importantes e mais utilizadas. A topografia refere-se às características das superfícies e do relevo de uma área, como colinas, vales e planícies das quais a área de interesse é feita, sendo definida pela elevação de cada localização representada por um par de coordenadas (x, y). A topografia da superfície da Terra pode ser representada no SIG por valores digitais, que consistem da elevação de um grande número de pontos amostrais ou pontos de controle, distribuídos através da área sendo representada (MIRANDA, 2010).

Os mapas topográficos constituem parte do cenário básico de muitos modelos de análise espacial. As informações a respeito das variações da altitude do terreno dispostas em formato de mapa são denominadas de modelo. Quando essas informações analógicas são disponibilizadas em formato digital, o mapa passa a se chamar Modelo Digital do Terreno (MDT), ou Modelo Numérico do Terreno (MNT) (MIRANDA, 2010).

O MDT é um caso específico de Modelos Digitais de Elevação (MDE), conjunto de produtos cartográficos obtidos a partir de um modelo matemático que representa um fenômeno, de maneira contínua, a partir de dados adequadamente estruturados e amostras do mundo real. O MDE pode ser dividido em duas representações: solo exposto (terreno); e solo exposto com os acidentes naturais e artificiais localizados sobre ele (vegetações, desastres naturais, edificações, pontes, cortes e aterros no terreno). Quando o MDE representa o solo exposto recebe a denominação de Modelo Digital do Terreno. Caso complementado com os acidentes naturais e artificiais localizado sobre ele, passa a ser denominado como Modelo Digital de Superfície (MDS) ou até mesmo como Modelo Digital de Elevação (MDE) (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2016). A Figura 4 ilustra a diferença entre MDT e MDS.

Figura 4 - Diferença entre MDS e MDT: (a) MDS; (b) MDT



Fonte: Wolski, 2016

O MDT é uma matriz (*raster*) com números que representam as distribuições geográficas de elevações. Na maioria dos casos, o valor memorizado será a altitude no centro de cada célula (*pixel*), mas podem ocorrer casos em que o valor registrado é a altitude média da célula. Os MDT são provenientes de mapas topográficos, onde as curvas de nível podem ser escaneadas e depois vetorizadas ou mediante a uma mesa digitalizadora manual. Há também técnicas de fotogrametria que podem ser utilizadas para produção de um MDT, com o auxílio de um par de estereoscópio (LONGLEY et al., 2013; MENDES e CIRILO, 2013).

Mendes e Cirilo (2013) salientam que os modelos digitais do terreno têm sido utilizados amplamente nas geociências, com o propósito de representar as características de variáveis regionalizadas. Os autores destacam ainda que quando utilizados em conjunto com SIG e técnicas de sensoriamento remoto, os MDT permitem estudar a variabilidade dos processos físicos nas bacias hidrográficas.

A concepção de um MDT baseia-se na extração de dados para criar uma superfície hipsométrica própria no nível de resolução apropriada para aplicação, incluindo a remoção de distorções e correção geométrica. Os dados de altitude mais utilizados são as curvas de isovalor (curvas de nível) e os pontos cotados das cartas topográficas, extraídos pela técnica de vetorização. Os pontos cotados são amostras tridimensionais do terreno levantadas em trabalho de campo, podendo ser regulares, semirregulares ou irregulares. As amostras regulares mantêm um padrão de espaçamento espacial nas direções x e y, as amostras semirregulares preservam a regularidade em uma direção preferencial x ou y, e as amostras irregulares não apresentam

um padrão de regularidade de distribuição, sendo em muitos casos as que melhor representam um fenômeno (MIRANDA, 2010; RIBEIRO e FERREIRA, 2014).

Após o processo de vetorização, o passo seguinte consiste na interpolação matemática, designada a produzir uma superfície contínua representada pela matriz do MDT. A interpolação é um processo de aproximação inteligente, no qual o SIG busca fazer uma estimativa razoável dos valores de um campo contínuo em locais onde as medidas de campo não foram realizadas. Todos os métodos utilizam a distância, baseada na suposição de que o valor em um local é mais parecido aos valores medidos em pontos amostrais vizinhos, do que aos valores de pontos amostrais distantes (LONGLEY et al., 2013).

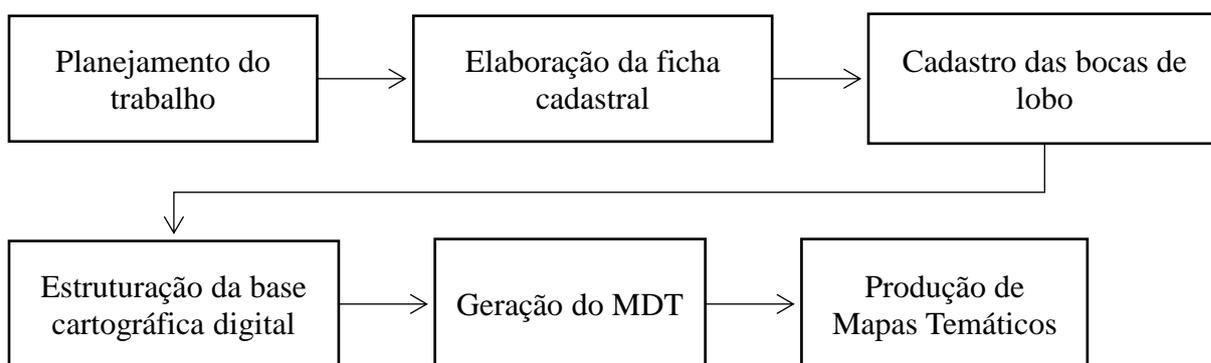
Apesar de existir uma vasta gama de métodos de interpolação e programas disponíveis para a modelagem da superfície, a tarefa de processamento de dados esparsos ainda pode ser difícil e demorada. Os maiores problemas estão relacionados ao processamento de grandes bancos de dados e a interpolação de dados com grande dispersão espacial heterogênea, como o caso das curvas de nível e pontos cotados. Além disso, para a utilização de modelos hidrológicos e geomorfológicos com base física, é necessário o cálculo automático de parâmetros topográficos, e muitos métodos tradicionais não são suficiente ou necessitam de uma quantidade de trabalho manual ou ajustes empíricos para esse tipo de aplicação. Já no contexto de recursos hídricos, a produção do MDT necessita de uma continuidade da superfície interpolada na bacia hidrográfica, pois uma célula na cabeceira deve estar conectada a outra célula no exutório para que seja garantida a função de movimento em vários processos hidrológicos (MENDES e CIRILO, 2013).

A partir de um MDT é possível gerar mapas de declividade e orientação, delimitar bacias hidrográficas e sua rede de drenagem, calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais. Pode-se gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, estabelecer a forma do relevo, determinar pontos de acúmulo de água, produzir Modelos Digitais do Terreno Hidrológicamente Corretos (MDTHC), entre outros inúmeros produtos que podem ser elaborados por meio de um MDT.

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi desenvolvida com base no fluxograma apresentado na Figura 5. A pesquisa foi desenvolvida em 6 etapas distintas que contemplam revisão bibliográfica dos assuntos abordados, revisão das legislações municipais e federais, planejamento e execução de trabalho de campo, e utilização de geotecnologias para geração dos produtos finais.

Figura 5 - Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.1 PLANEJAMENTO DO TRABALHO

A primeira etapa do trabalho caracterizou-se por estruturar as atividades que serão desenvolvidas no estudo, elencando métodos e ferramentas necessárias para a concepção do trabalho, além da definição da área de estudo. Para realizarem-se as análises propostas neste estudo, definiu-se a área urbana do município de Santo Ângelo como unidade de aplicação e planejamento da metodologia. A escolha dessa área levou em consideração os problemas relacionados a inundações e alagamentos enfrentados pelo município, e a existência de uma base cartográfica definida.

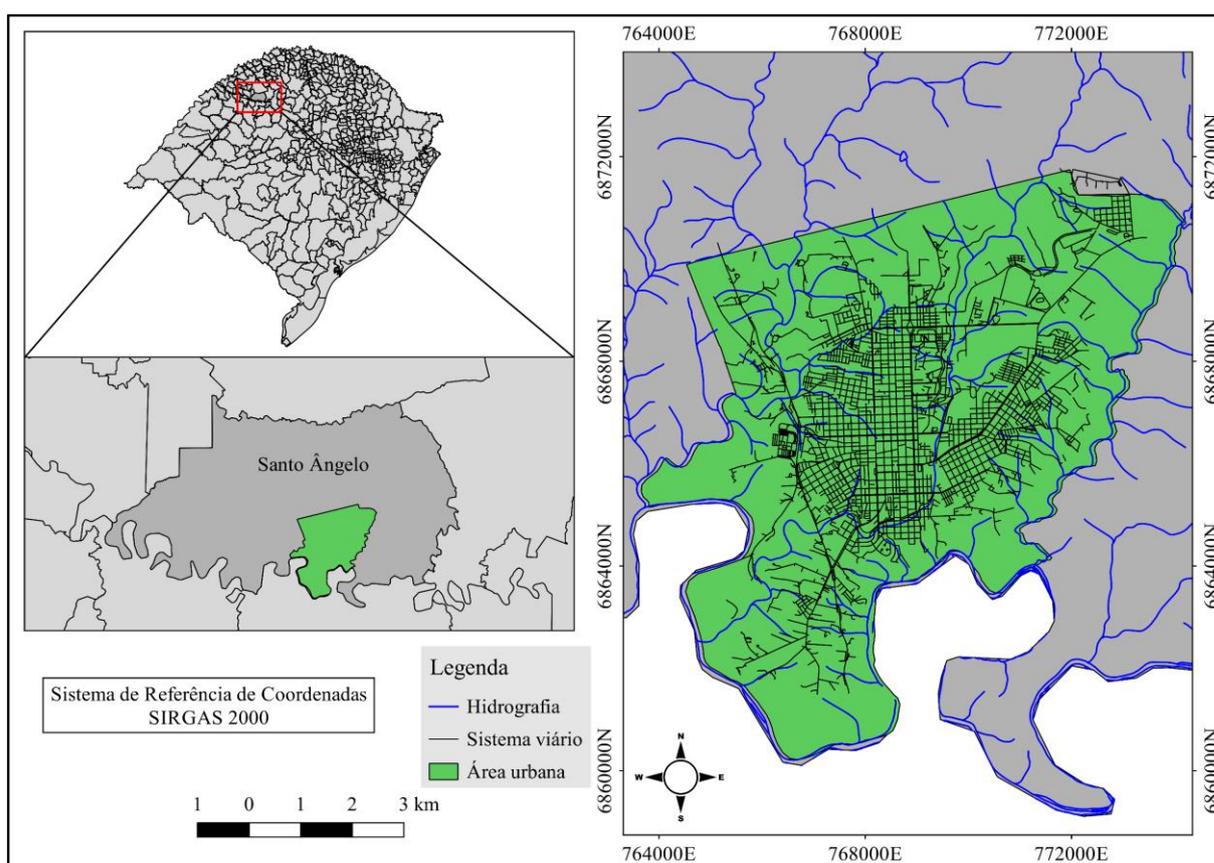
Foi realizado um inventário dos dados existentes no Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo (PMSBP) do Município de Santo Ângelo. Ao consultar o PMSBP foi possível identificar a carência de dados sobre a drenagem urbana e o manejo de águas pluviais do município. Conforme consta no PMSBP, não há registros nem cadastros sobre o sistema de drenagem urbana por “conta da falta de critérios nos projetos de intervenção estrutural”, pois esses são executados de forma pontual. As informações sobre a rede de microdrenagem são

superficiais, apresentando apenas um panorama geral da situação, sem especificar a quantidade de bocas de lobo, o diâmetro das tubulações e galerias, e a distribuição da rede na cidade.

3.1.1 Caracterização da área de estudo

O município situa-se na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, na encosta do planalto médio rio-grandense, zona fisiográfica das Missões. Está localizado nas coordenadas geográficas: Latitude $28^{\circ} 18' 01''$ sul e Longitude $54^{\circ} 15' 49''$ a oeste de Greenwich, e a 286 metros acima do nível do mar. A área urbana está localizada entre as coordenadas UTM 763.658,62 m E a 774.219,45 m E, e 6.860.217,02 m N a 6.871.745,44 m N, projetadas no sistema de referência SIRGAS 2000 UTM 21S, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Mapa de situação e localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Santo Ângelo dispõe de uma área de 680,930 km², sendo que 580,14 km² são utilizados para a agricultura, 72,60 km² correspondem a formação florestal e apenas 16,60 km²

correspondem a área urbanizada conforme relatado pelo Projeto MapBiomias (2017). Possui uma população de 76.275 habitantes conforme o Censo Demográfico de 2010, sendo destes, 4.471 habitantes são residentes na zona rural e 71.804 habitantes residem na zona urbana, o que proporciona uma densidade demográfica de 112,09 hab/km² (IBGE, 2010).

De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima predominante da região é do tipo Cfa, caracterizado como um clima subtropical úmido e com chuvas irregulares (MORENO, 1961; ALVARES et al., 2013). A área apresenta solos profundos, com predominância do tipo Latossolo Vermelho Distroférico típico, com textura argilosa pesada, bem drenados, com coloração vermelha escura (BRASIL, 1973). Esse solo abrange 70 % da área do município, sendo o restante composto por outros tipos de solos, como os neossolos (SANTO ÂNGELO, 2011).

Em relação aos aspectos geológicos, Santo Ângelo situa-se na província geomorfológica do planalto meridional, apresentando um relevo do tipo tectônico, diaclasado e suavemente ondulado, com uma declividade variando de 3 % a 10 % com formação de coxilhas tubulares. A formação geológica da área é oriunda da formação Serra Geral, caracterizada pela composição de lava basáltica, diques e sill diabásicos associados (SANTO ÂNGELO, 2011).

3.2 ELABORAÇÃO DA FICHA CADASTRAL DAS BOCAS DE LOBO

A inexistência de um cadastro das estruturas do sistema de drenagem urbana associado a falta de informações mais específicas no PMSBP, incentivou essa pesquisa a realizar um diagnóstico das bocas de lobo do sistema de microdrenagem do município de Santo Ângelo. Para tanto, foi elaborada uma ficha cadastral que abrange informações sobre o tipo das bocas de lobo, estabilidade das estruturas, além da localização.

A ficha cadastral, cujo modelo está representado no APÊNDICE A, foi estruturada de maneira a contemplar aspectos pertinentes sobre as bocas de lobo e seu entorno, para que assim se possa construir um banco de dados, facilitando a consulta às informações. Os campos de informações que constam na ficha cadastral são:

- 1) Localização: campo destinado para identificar a avenida, ou rua, onde encontrou-se a boca de lobo. Em casos de cruzamentos entre avenidas ou ruas, identifica-se a via atualmente percorrida;
- 2) Número: identificação do número referente a contagem das bocas de lobo;

- 3) Lado: identificação do lado da via em que encontrou-se a boca de lobo, sendo lado par ou ímpar;
- 4) Coordenadas: campo designado para o registro das coordenadas UTM das bocas de lobo;
- 5) Número da foto: para melhor identificação e consulta às informações, foi formulado um código para o registro fotográfico das bocas de lobo. O código é composto pelas letras P (par) ou I (ímpar), dependendo do lado da via em que verificou-se a boca de lobo, em conjunto ao número de registro da boca de lobo;
- 6) Dimensões: espaço apontado para o registro das dimensões da boca de lobo, como largura, comprimento e altura;
- 7) Largura da rua: espaço para anotar a largura da via;
- 8) Elementos do sistema de drenagem: em conjunto às bocas de lobo podem ser encontrados outros elementos que compõe um sistema de drenagem urbana, como galerias, canais e ramais;
- 9) Comentários gerais: essa seção foi preparada para registrar as condições estruturais e o estado de conservação das bocas de lobo. São quatro itens analisados:
 - a) Condições de estabilidade: indicação da condição estrutural da boca de lobo, podendo ser classificada como Boa, Sofrível ou Precária;
 - b) Seção de vazão adequada: item definido para determinar se a vazão de engolimento da boca de lobo é adequada ou não;
 - c) Entupimento: tópico para identificar se há obstruções que prejudicam o escoamento da água para os condutos;
 - d) Inspeção detalhada necessária: após a avaliação da boca de lobo, o cadastrador pode indicar se há a necessidade de se fazer uma inspeção mais detalhada da boca de lobo.
- 10) Tipo de boca de lobo: identificação do tipo de boca de lobo analisada. As bocas de lobo podem ser do tipo com grelha, sendo de ferro ou concreto, lateral, ou fenda horizontal. Podem estar presentes como um único dispositivo (simples), ou associadas com mais de uma boca (múltipla);
- 11) Entorno: esse item foi designado para identificar as condições ao redor da boca de lobo. São descritos o tipo de pavimento da via, a situação do passeio, além de um espaço para alguma observação a mais;

- 12) Croqui: espaço definido para esboçar a localização da boca de lobo, indicando as vias ao redor, e a boca de lobo, apresentado as dimensões, e as tubulações e seus diâmetros.

3.3 CADASTRO DAS BOCAS DE LOBO

O cadastro das bocas de lobo ocorreu na forma de pesquisa de campo. Inicialmente fez-se um planejamento dos roteiros a serem percorridos, levando-se em consideração as áreas mais afetadas por alagamentos e inundações durante períodos chuvosos, através de relatos dos servidores da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santo Ângelo. Com base nessa análise, definiu-se que a área central do município seria a primeira a ser investigada, seguindo para os bairros.

Para o levantamento de campo utilizou-se as fichas cadastrais, um rastreador GNSS de navegação modelo Garmin Etrex Vista H configurado no sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, máquina fotográfica e trena, ilustrados na Figura 7. Para a apuração dos diâmetros das tubulações, foi confeccionada uma régua metrada, constituída de dois tubos em sistema telescópico, conforme ilustrado na Figura 8. Além desses materiais, utilizou-se também pranchetas, canetas e giz atóxico lavável para marcações.

Figura 7 - Materiais utilizados no cadastramento das bocas de lobo: (a) rastreador GNSS de navegação, (b) trena, e (c) máquina fotográfica



Figura 8 - Régua confeccionada para a verificação dos diâmetros das tubulações



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

3.4 ESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

A base cartográfica utilizada neste trabalho foi gentilmente cedida pela Prefeitura Municipal de Santo Ângelo. A estruturação dessa base foi realizada pelo método de restituição aerofotogramétrica, processo de obtenção de informações planimétricas e altimétricas de uma superfície a partir de fotografias aéreas, obtidas com câmeras métricas. A cobertura dos voos foi realizada na escala 1:8.000, entre os anos de 2001 a 2003. A restituição foi ampliada para a escala 1:2.000, e depois generalizada para a escala 1:10.000. Ao todo foram produzidas 46 folhas que cobrem todo o município, contendo dados de curvas de nível de 5 m, hidrografia do município, áreas de preservação permanente, sistema viário, zoneamento urbano, perímetro urbano, além de informações referentes à infraestrutura do município.

Neste trabalho foram utilizados os dados de curvas de nível e hidrografia de 33 cartas, abrangendo toda área urbana do município de Santo Ângelo. O processo de urbanização é caracterizado pela transformação do uso e ocupação. Solos antes ocupado por vegetações naturais ou ocupados para produção agrícola dão lugar a casas, prédios, ruas, calçadas, sistemas de abastecimento de água e de recolhimento de esgoto, sistemas de drenagem urbana, rede elétrica, e todas as outras infraestruturas necessárias para as cidades. Esse processo provoca grandes movimentações de terra, alterando o relevo natural do local, que mais tarde, são

refletidas nas curvas de nível. Como as curvas de nível são isolinhas que representam a altitude do terreno, quaisquer alterações como terraplenagens e nivelamentos do solo são identificadas por elas. Essa é uma característica comum das curvas de nível em áreas urbanas.

Para a estruturação de um MDT consistente, a base cartográfica precisa ser sólida, georreferenciada e representar a topologia original do relevo com boa precisão. Desta forma, a base cartográfica cedida pela prefeitura de Santo Ângelo necessita de uma revisão e correção nas curvas de nível da área urbana do município. Para isso utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas QGIS[®] na versão 2.18.27, um *software* gratuito e de código aberto, licenciado pela *General Public License* (GNU). O QGIS[®] possui uma interface simples e de fácil manuseio, ofertando várias ferramentas que possibilitam visualizar, gerenciar, editar, analisar os dados e compor mapas impressos. Além das ferramentas básicas do QGIS[®], é possível estender suas funcionalidades por meio da instalação de *plugins* desenvolvidos por terceiros.

O primeiro passo na análise da base cartográfica foi “juntar” todas as 33 cartas contendo as curvas de nível em um único arquivo. Para a execução dessa etapa utilizou-se a ferramenta própria do QGIS[®] “Mesclar camadas vetoriais”. Essa ferramenta permite associar vários arquivos vetoriais de interesse, criando um novo arquivo vetorial contendo todas feições dos arquivos antes separados.

Em seguida fez-se uma suavização nas curvas de nível, de forma a eliminar os efeitos causados pelas alterações no terreno, e se chegar a um produto que represente o relevo do terreno o mais próximo do que era antes da urbanização. Para esse processo optou-se pelo uso do *plugin* “*Generalizer*”, um filtro que reúne vários métodos de generalizações e suavizações de feições. Neste trabalho utilizou-se o método de suavização *Boyle's Forward-Looking Algorithm*, um método em que a posição do vértice depende da posição dos vértices anteriores, e do vértice à frente, tendo como parâmetros de entrada o arquivo vetorial a ser suavizado e a tolerância de vértices a serem retidos, que nesse caso optou-se pelo valor de 10 vértices. Terminado esse processo, fez-se ainda uma simplificação na geometria das linhas, aplicando a técnica de “Simplificar geometrias”, algoritmo do próprio QGIS[®] que cria uma nova camada com os mesmos atributos da camada de entrada (curvas de nível suavizadas), mas com menor número de vértices. Essa etapa foi realizada apenas para diminuir o tamanho do arquivo, aumentando assim a velocidade de processamento dos dados no processo de estruturação do MDT.

Os dados vetoriais da hidrografia da área de estudo apresentaram-se fragmentados, necessitando de um tratamento para sua utilização. Nesse caso fez-se uma nova vetorização dos rios com base nos arquivos originais, seguido de um processo de verificação da orientação do

fluxo de drenagem dos rios, utilizando a ferramenta “*Line Direction Tool*” do SIG ArcView 3.2, que gera uma representação gráfica da direção de uma linha, além de permitir a inversão da direção da linha caso necessário.

3.5 ESTRUTURAÇÃO DO MDT

O MDT consiste na representação quantitativa da grandeza altimétrica que varia continuamente no espaço. Esse modelo é muito utilizado em projetos de drenagem urbana e possui potencialidades para apoiar no desenvolvimento de análises de áreas susceptíveis a inundações. O MDT deve ser representado em escalas grande e com resolução compatível com a necessidade imposta pelos mapas derivados.

Para confecção do Modelo Digital do Terreno de parte da área urbana de Santo Ângelo, foram empregadas 33 folhas do levantamento aerofotogramétrico na escala na escala 1:2000 e 1:10.000, contendo camadas de dados referentes a curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados. Para essa etapa utilizou-se o componente ArcMap™ 10.4 do SIG ArcGis™ 10.4. O ArcGis pode ser definido como um sistema de várias partes que podem ser utilizadas em um único computador ou em uma rede de computadores, possibilitando aos usuários realizar trabalhos avançados de SIG por meio de ferramentas que permitem editar e automatizar dados, administrar dados e realizar análises geográficas. ArcMap é o aplicativo que permite visualizar, editar e consultar dados geoespaciais e criar mapas.

Com os dados de altimetria e hidrografia da área de estudo empregou-se a ferramenta “*Topo To Raster*”, pois trata-se de um método de interpolação especificamente projetado para a estruturação de modelos digitais de elevação hidrologicamente corretos (MDEHC) e modelos digitais de terreno hidrologicamente corretos (MDTHC). Essa ferramenta usa as informações do relevo e hidrografia no processo de interpolação, resultado em uma estrutura de drenagem conectada e representando corretamente as cordilheiras e córregos, produzindo superfícies de maior precisão. Tal procedimento de interpolação foi projetado para aproveitar os dados de entrada normalmente disponíveis e as características conhecidas das elevações da superfície, por meio da técnica de interpolação de diferenças finitas iterativas. É uma técnica em que a penalidade de rugosidade foi modificada para permitir que o MDT ajustado acompanhe mudanças abruptas no terreno, tais como fluxos, cordilheiras e penhascos.

Para gerar o MDTHC de parte da área urbana de Santo Ângelo configurou-se a ferramenta “*Topo To Raster*” para fazer um máximo de 30 iterações e gerar um produto com pixels de 10 m². Esses valores foram escolhidos com base nos dados altimétricos da base

cartográfica disponível, sendo estas curvas de nível de 5 m e pontos cotados. Posteriormente usou-se a ferramenta “*Hillshade*” que proporciona uma iluminação hipotética de uma superfície determinando os valores de iluminação para cada célula em uma varredura, concedendo um aspecto de sombreamento sobre o MDTHC que permite visualizar as formas do relevo. Isso é realizado definindo uma posição para uma fonte de luz hipotética e calculando os valores de iluminação de cada célula em relação às células vizinhas. Nesse caso definiu-se o valor do Azimute em 300° e a altitude da fonte luminosa acima do horizonte em 45°.

Utilizou-se a ferramenta “*Slope*” para produzir um mapa de declividade da área de estudo. Para cada célula, a ferramenta “*Slope*” calcula a taxa máxima de mudança do valor daquela célula para seus vizinhos. Basicamente, a mudança máxima na elevação da distância entre a célula e seus oito vizinhos identifica a descida mais íngreme da célula. Essa ferramenta ajusta um plano aos valores z de uma vizinhança de 3 x 3 células ao redor da célula do centro, onde o valor do declive deste plano é calculado usando a técnica máxima média. Quanto menor o valor do declive, mais plano o terreno, e quanto maior o valor do declive, mais íngreme é o terreno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da metodologia aplicada no capítulo anterior.

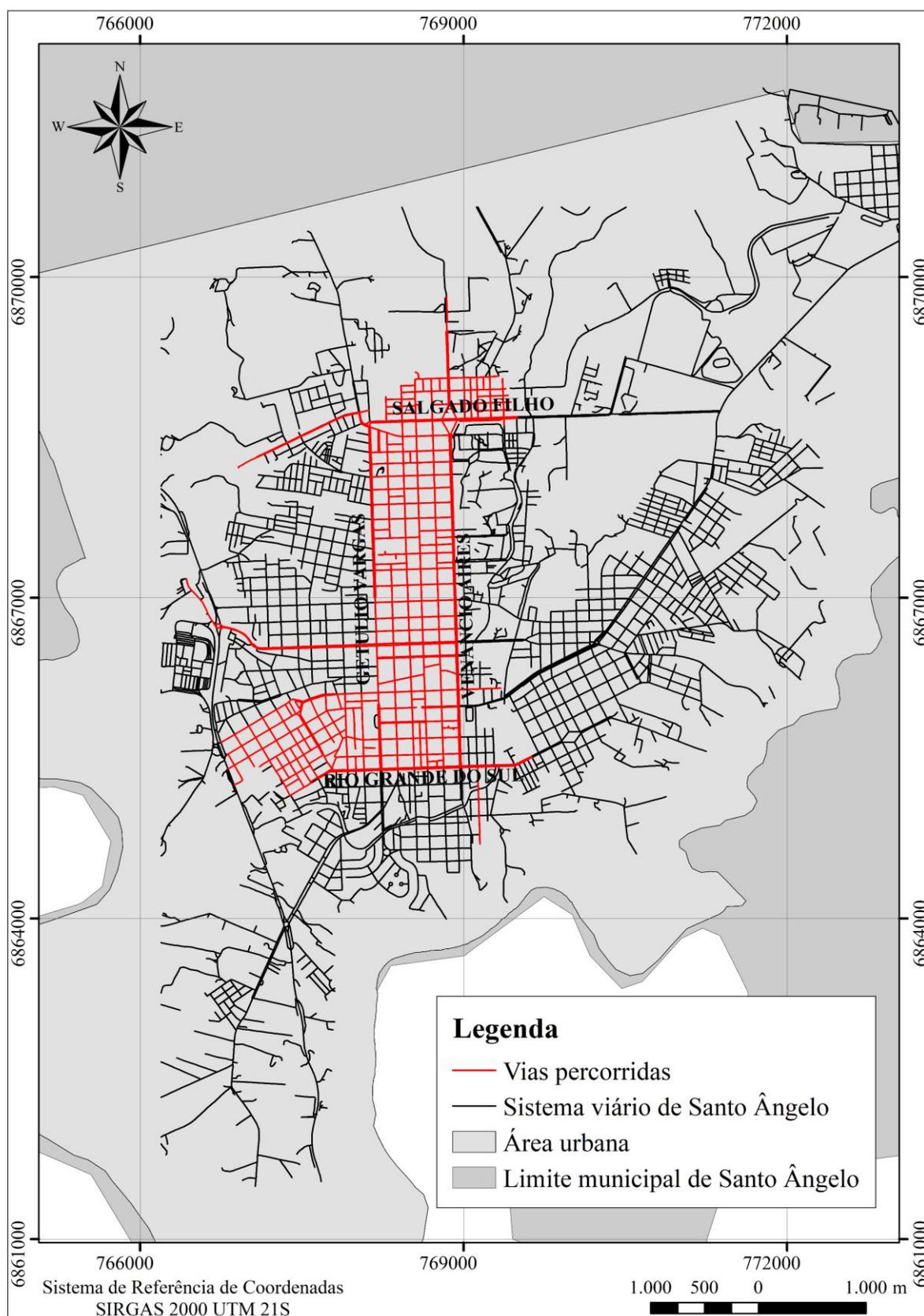
4.1 CADASTRO DAS BOCAS DE LOBO

O levantamento das bocas de lobo da rede de drenagem do município de Santo Ângelo teve início em 16 de julho de 2018 e seguiu-se ao longo de um ano, porém, devido a limitação de recursos não foi possível fazer o cadastro de todas as bocas de lobo do município. A primeira área a ser cadastrada compreendeu o centro da cidade, delimitada pelas vias longitudinais Avenida Getúlio Vargas e Avenida Venâncio Aires, e pelas vias paralelas Avenida Salgado Filho e Avenida Rio Grande do Sul, sendo percorridas cerca de 35 vias. As primeiras vias a serem percorridas foram as longitudinais, sendo elas, em ordem: Avenida Getúlio Vargas, Rua 15 de Novembro, Avenida Antunes Ribas, Avenida Marquês do Herval, Rua Marechal Floriano e Avenida Venâncio Aires. Escolheu-se essas vias pois tratam-se das principais vias urbanas no sentido Sul-Norte do município. Posteriormente foram cadastradas as bocas de lobo localizadas nas vias paralelas, além das travessas e ruas longitudinais que não haviam sido percorridas, para assim completar o levantamento em toda área central da cidade. Essa área foi escolhida primeiro para o levantamento pois são muitos os pontos de alagamentos e inundações registrados quando ocorre precipitação pluviométrica, e como se trata de uma área densamente urbanizada, com alta concentração de vários tipos de comércios, hotéis, hospitais e consultórios médicos, os transtornos provocados pelas chuvas prejudicam demais a população santo-angelense.

Com o cadastramento do centro da cidade completo, seguiu-se para as regiões periféricas e bairros. Os primeiros bairros percorridos foram o Pascotini, localizado na parte mais ao norte da área urbana, seguido do bairro São Pedro, situado ao lado do bairro Pascotini, ambos abrangem aproximadamente 21 vias. Finalizado esses dois bairros, seguiu-se o levantamento na região sudoeste, mais precisamente para os bairros Emília e Menges. Esses dois bairros englobam por volta de 29 vias, e também sofrem com problemas de inundações e alagamentos. Também foi feito o levantamento em toda Avenida Brasil e na Rua Marcelino Champanhag.

Dessa forma foram percorridas em torno de 90 vias ao longo do período de levantamento, o que representam uma área de abrangência de aproximadamente 4 km². A Figura 9 apresenta todas as vias que foram percorridas durante o cadastramento.

Figura 9 - Mapa das vias percorridas durante o período de cadastramento das bocas de lobo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Conforme apresentado no capítulo anterior, o levantamento ocorreu em forma de pesquisa de campo. Ao avistarem uma boca lobo, os cadastradores dirigiam-se até ela e iniciavam o processo de avaliação e cadastramento, preenchendo os campos da ficha cadastral com o auxílio dos equipamentos levados a campo. Toda essa etapa foi apoiada pela SEMMA Santo Ângelo, que disponibilizou pessoas e recursos para a execução desse projeto. A Figura 10 ilustra esse processo.

Figura 10 - Processo de cadastramento das bocas de lobo



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Ao todo foram levantadas 357 bocas de lobo no período de um ano, sendo 282 do tipo com grelha de ferro simples, 31 do tipo lateral simples, 22 do tipo fenda horizontal, 8 com grelha de ferro dupla, 4 com grelha de ferro tripla, 4 do tipo mista com grelha de ferro simples e lateral simples, 3 do tipo grelha de concreto simples, 2 lateral simples e 1 com grelha de ferro múltipla apresentando associação de 7 dispositivos. Na Figura 11 são apresentados alguns exemplos de bocas de lobo que compõe o sistema de drenagem urbana. Percebe-se que não há uma padronização na construção desses dispositivos, de forma que leva a conclusão que não

existe um planejamento para o sistema de microdrenagem de Santo Ângelo, onde as obras estruturais de intervenção são realizadas de forma pontual e com caráter corretivo, da mesma forma como consta no PMSBP (SANTO ÂNGELO, 2011). Além disso, observa-se que a falta de manutenção dos dispositivos hidráulicos é recorrente, de modo que algumas bocas de lobo apresentam um nível alto de deterioração.

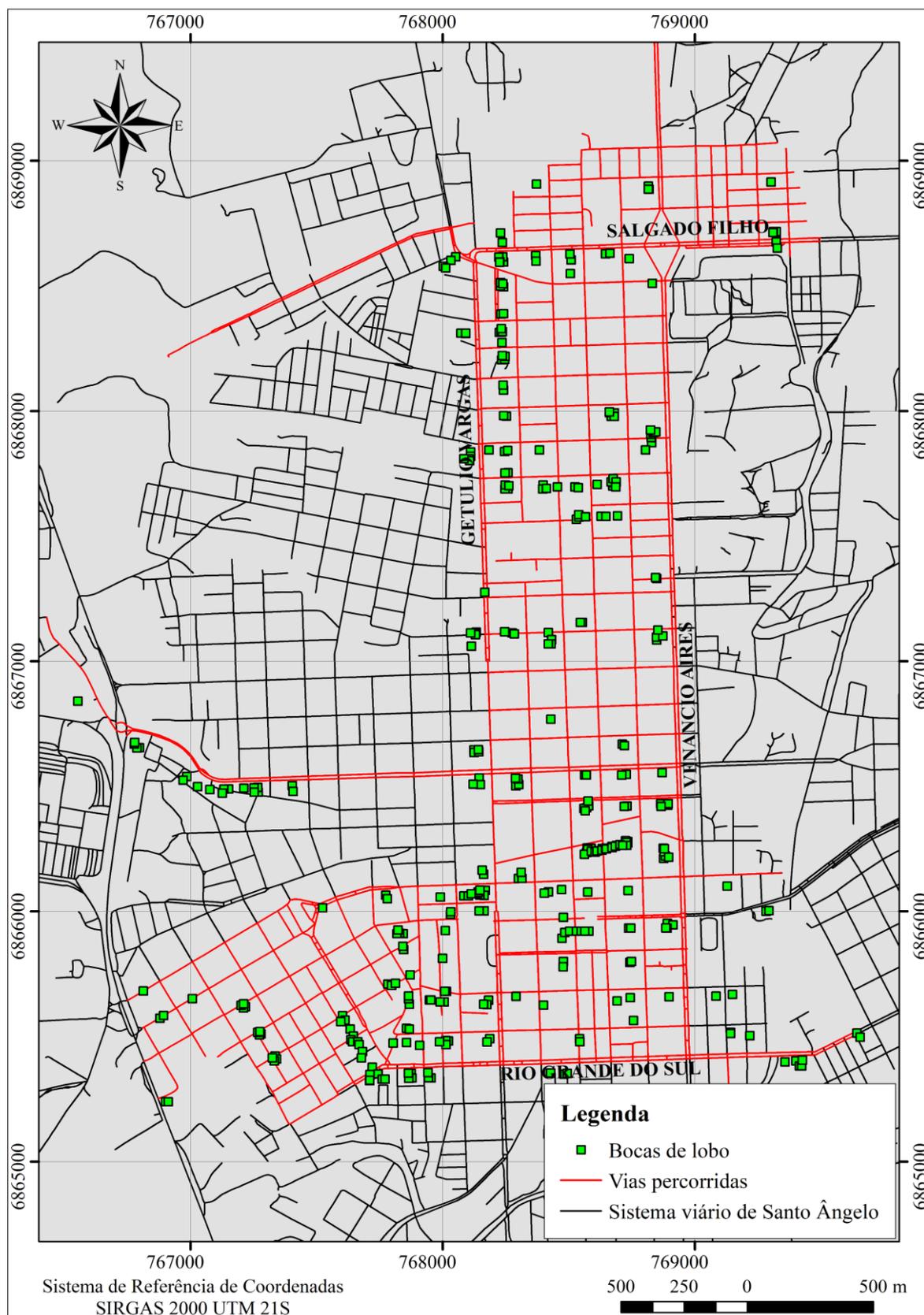
Figura 11 - Exemplo de bocas de lobo cadastradas



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

A Figura 12 apresenta o mapeamento das 357 bocas de lobo. Analisando esse mapa, fica evidente que a microdrenagem do município foi concebida sem planejamento ou projetos adequados. Netto et al. (1998) e Porto et al. (2015) indicam que as bocas de lobo devem ser colocadas em ambos os lados da rua, com um espaçamento entre 60 m e 75 m, cenário esse que não se encontrou durante o levantamento. Observando a Figura 12 nota-se que existe uma concentração elevada de bocas de lobo na região central, enquanto que nas áreas periféricas foram poucos os registros desse dispositivo. Ressalta-se também que a disposição das bocas de lobo no mapa mostra que o espaçamento entre elas indicado na bibliografia não foi respeitado, evidenciando mais uma vez que o sistema de drenagem urbano do município não foi planejado adequadamente.

Figura 12 - Mapa das bocas de lobo cadastradas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

4.2 ESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

Os dados de curvas de nível da base cartográfica estavam divididos nas 33 folhas da restituição aerofotogramétrica que abrangem a área urbana de Santo Ângelo. Após a utilização da ferramenta “Mesclar camadas vetoriais” do SIG QGIS® 2.18.27, os dados de curvas de nível foram reunidos em um único arquivo. O resultado desse processo pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Resultado do processo “Mesclar camadas vetoriais”

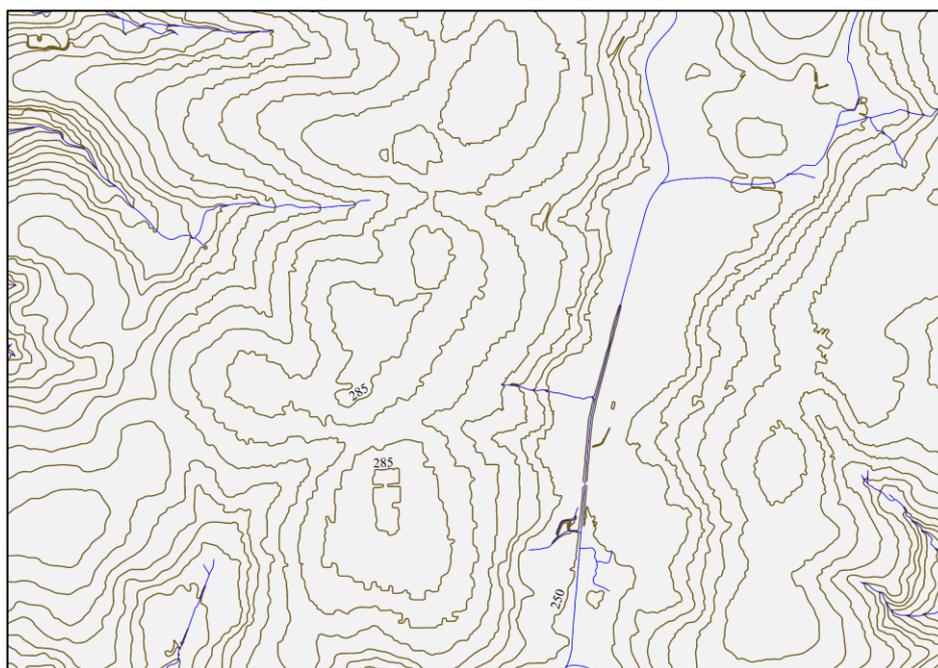


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Devido ao processo de urbanização do município, houve muita alteração no relevo em decorrência das atividades de construção civil, que utilizam técnicas de nivelamento de terreno para construir edificações, estradas, linhas férreas, sistemas de abastecimento de água e recolhimento de esgoto, sistemas de drenagem urbana, entre outras obras, que são fundamentais para proporcionar a infraestrutura necessária para a população. Em resumo, para qualquer execução de uma obra, é necessário que se faça o nivelamento do terreno para garantir a sustentação dessas obras, de forma que a declividade do terreno não prejudique as estruturas dos projetos.

Porém, essas mudanças no relevo são detectadas pelas curvas de nível originadas de processos de restituição aerofotogramétricos. A Figura 14 apresenta um exemplo das curvas de nível da base cartográfica digital de Santo Ângelo, onde observa-se que as modificações no relevo refletiram nas curvas de nível, de maneira que elas não apresentam um aspecto sinuoso em alguns lugares.

Figura 14 - Exemplo de curvas de nível da área urbana de Santo Ângelo

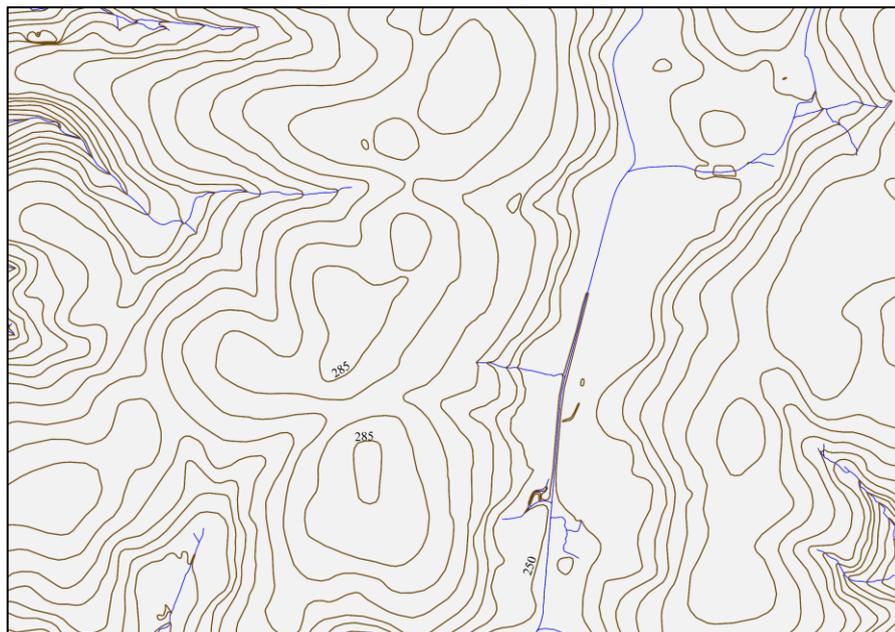


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A Figura 15 demonstra o resultado da técnica de generalização de feições vetoriais realizada pelo *plugin* “*Generalizer*”, com o método de suavização de *Boyle's Forward-Looking Algorithm*. Observa-se que o filtro apresentou um bom resultado de suavização para as curvas de nível, deixando-as mais sinuosas e sem afetar a qualidade na representação altimétrica do relevo. A Figura 16 exhibe o resultado da ferramenta “*Simplificar geometrias*” por meio de uma comparação entre os arquivos de curvas de nível antes do processo e após o processo. Verifica-se que essa ferramenta diminuiu consideravelmente o número de vértices das feições, deixando o arquivo menor, mas sem prejudicar a sinuosidade das curvas obtida na etapa anterior.

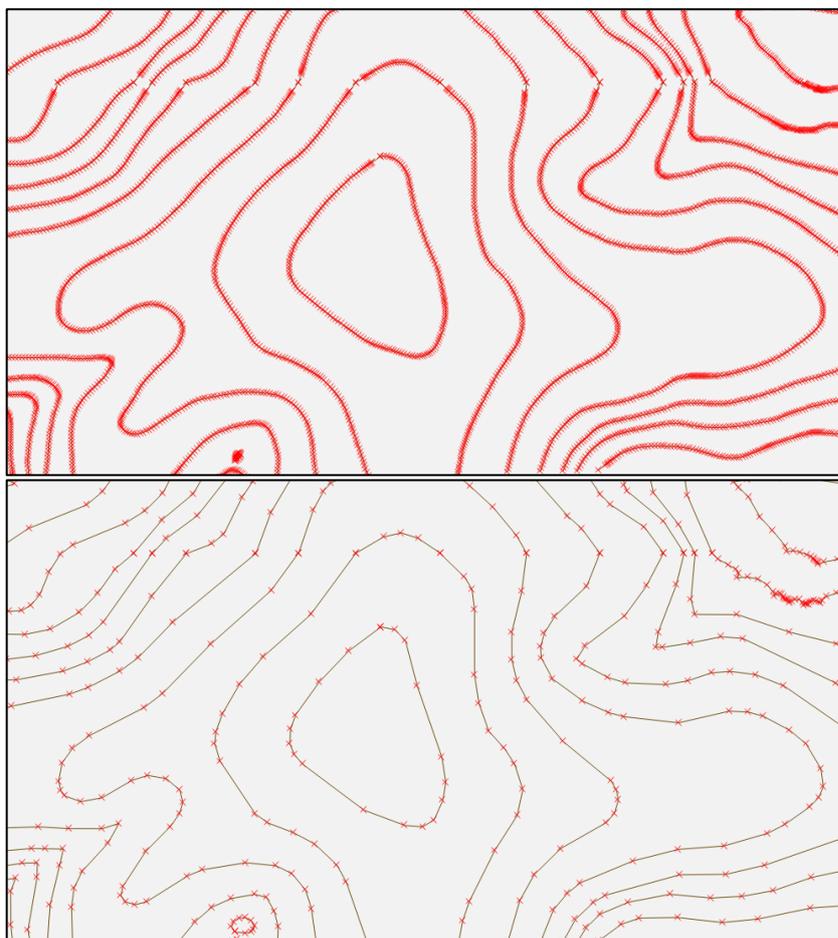
Tanto o *plugin* “*Generalizer*”, quanto a ferramenta “*Simplificar geometrias*” apresentaram bons resultados em seus processos. Isso demonstra que o SIG QGIS® 2.18.27, apesar de ser um *software* gratuito e de código aberto, atende de maneira satisfatória as operações exigidas de um SIG.

Figura 15 - Resultado da suavização das curvas de nível



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

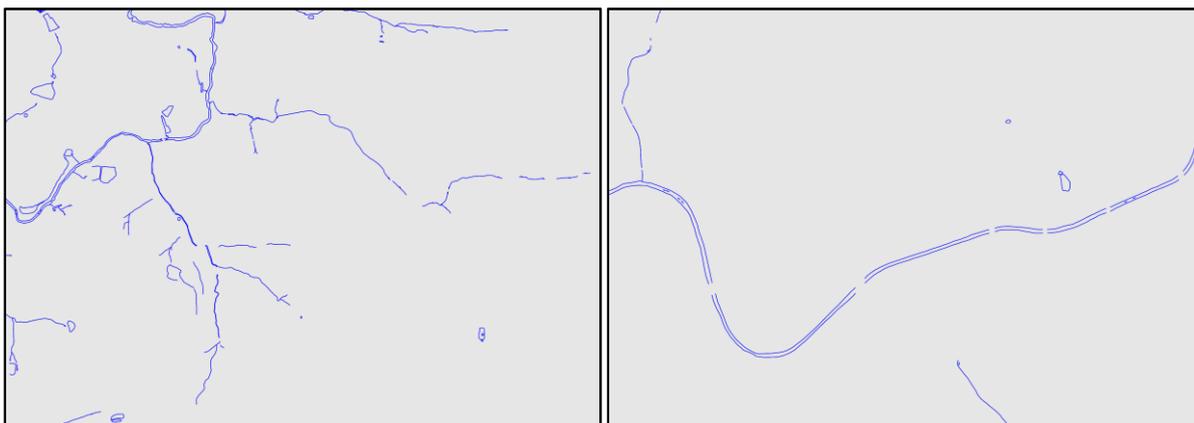
Figura 16 - Comparação do número de vértices antes e após a simplificação de geometrias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Quanto aos dados de hidrografia foi necessário fazer uma nova vetorização com base nos arquivos vetoriais originais, pois haviam inconsistências que prejudicariam a estruturação do MDT, como rios fragmentados e sem fluxo de drenagem definidos. A Figura 17 mostra alguns exemplos de inconsistências encontrados nos arquivos originais.

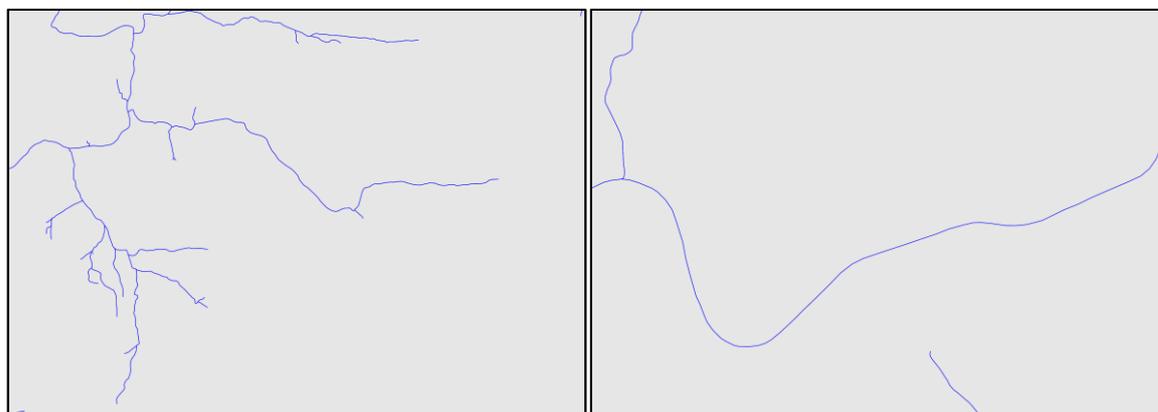
Figura 17 - Inconsistências verificadas na hidrografia da base cartográfica digital



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

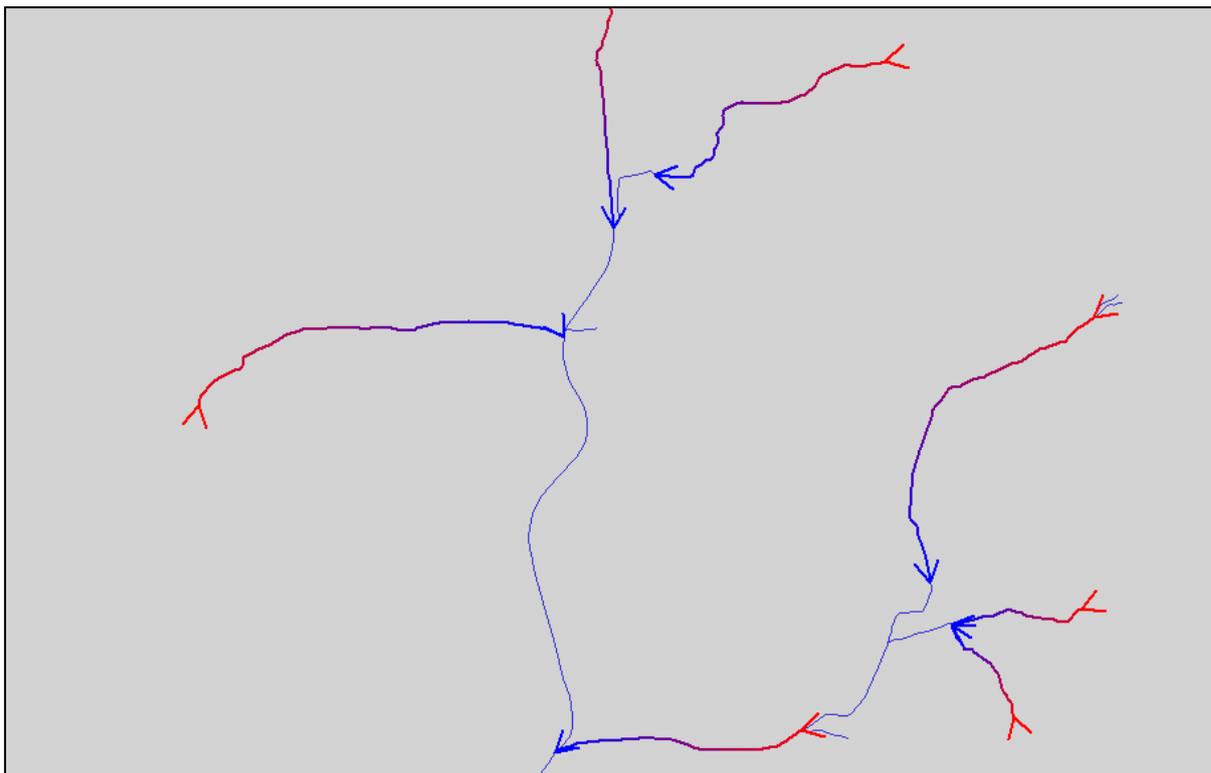
Na Figura 18 temos o resultado da vetorização da hidrografia. Observa-se que o novo arquivo de hidrografia não apresenta falhas, e que conforme mostrado na Figura 19, o fluxo dos rios estão corretos, ou seja, os rios estão “correndo” da nascente (montante) para a foz (jusante). Essas informações são imprescindíveis para a estruturação do MDTHC, pois os dados de hidrografia irão informar ao SIG onde encontram-se os vales da região, de maneira que as linhas de fluxos dos pixels estão direcionadas para a parte mais baixa do terreno, indicando qual o sentido de escoamento da drenagem da área de estudo.

Figura 18 - Resultado da vetorização da hidrografia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Figura 19 - Direcionamento do fluxo da drenagem da hidrografia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

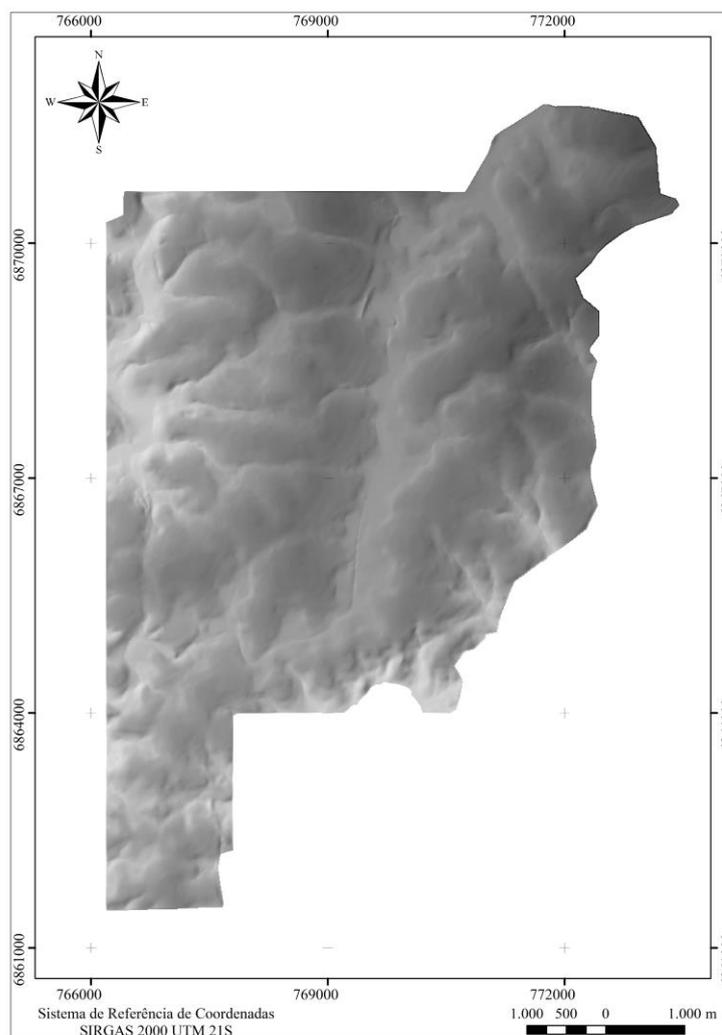
Assim como o cadastramento das bocas de lobo, a etapa de revisão e correção da base cartográfica digital demandou bastante tempo de trabalho. O processo de análise de dados vetoriais exige muita atenção e minuciosidade para que se tenha uma boa qualidade nas representações cartográficas dos objetos, de maneira que as correções que se fizeram necessárias para a estruturação do MDTHC, não afetem a reprodução do mundo real.

4.3 ESTRUTURAÇÃO DO MDT

Com a base cartográfica digital revisada e corrigida, estruturou-se o Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Correto da área urbana de Santo Ângelo utilizando a ferramenta de interpolação “*Topo To Raster*” do componente ArcMap™ 10.4, do Sistema de Informações Geográficas ArcGis™ 10.4. O resultado dessa etapa está apresentado na Figura 20. O interpolador apresentou um resultado bastante satisfatório, sendo possível perceber que a variação altimétrica do terreno é pequena, proporcionando um relevo pouco acidentado e com áreas bastante planas. De acordo com Lopes et al (2006), isso ocorre pois o interpolador “*Topo To Raster*” exibe um efeito de suavização geral nos trechos retilíneos, topos de morros e vales,

além de eliminar bacias indesejáveis nos locais de quebras de relevo através do parâmetro “*Enforce*”. Dessa forma, a imagem do relevo e a imagem do aspecto (orientação de vertentes) resultam em superfícies com poucas rugosidades, além de um ótimo ajuste nas isolinhas da base topográfica.

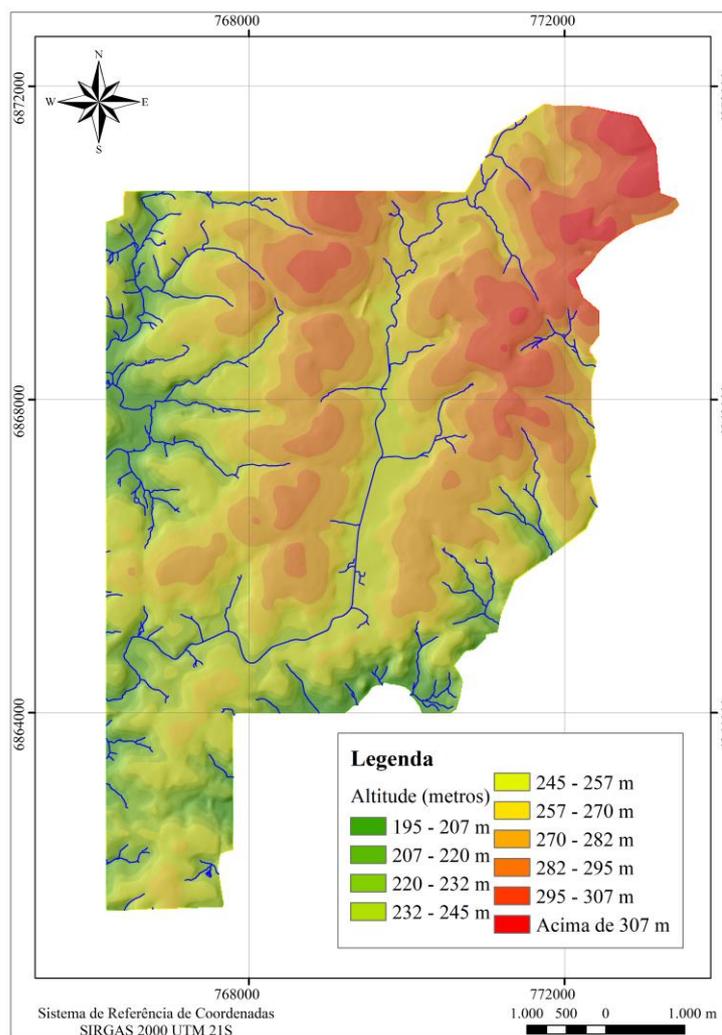
Figura 20 - MDTHC da área urbana de Santo Ângelo - RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A Figura 21 mostra o mapa hipsométrico da área urbana do município. Em relação às classes hipsométricas, foi escolhido uma divisão com uma equidistância média de 12,5 metros para uma análise mais detalhada do relevo, gerando dez classes de altitudes. A área urbana de Santo Ângelo apresenta a cota altimétrica de 320 metros como a mais elevada e de 195 metros como a menos elevada.

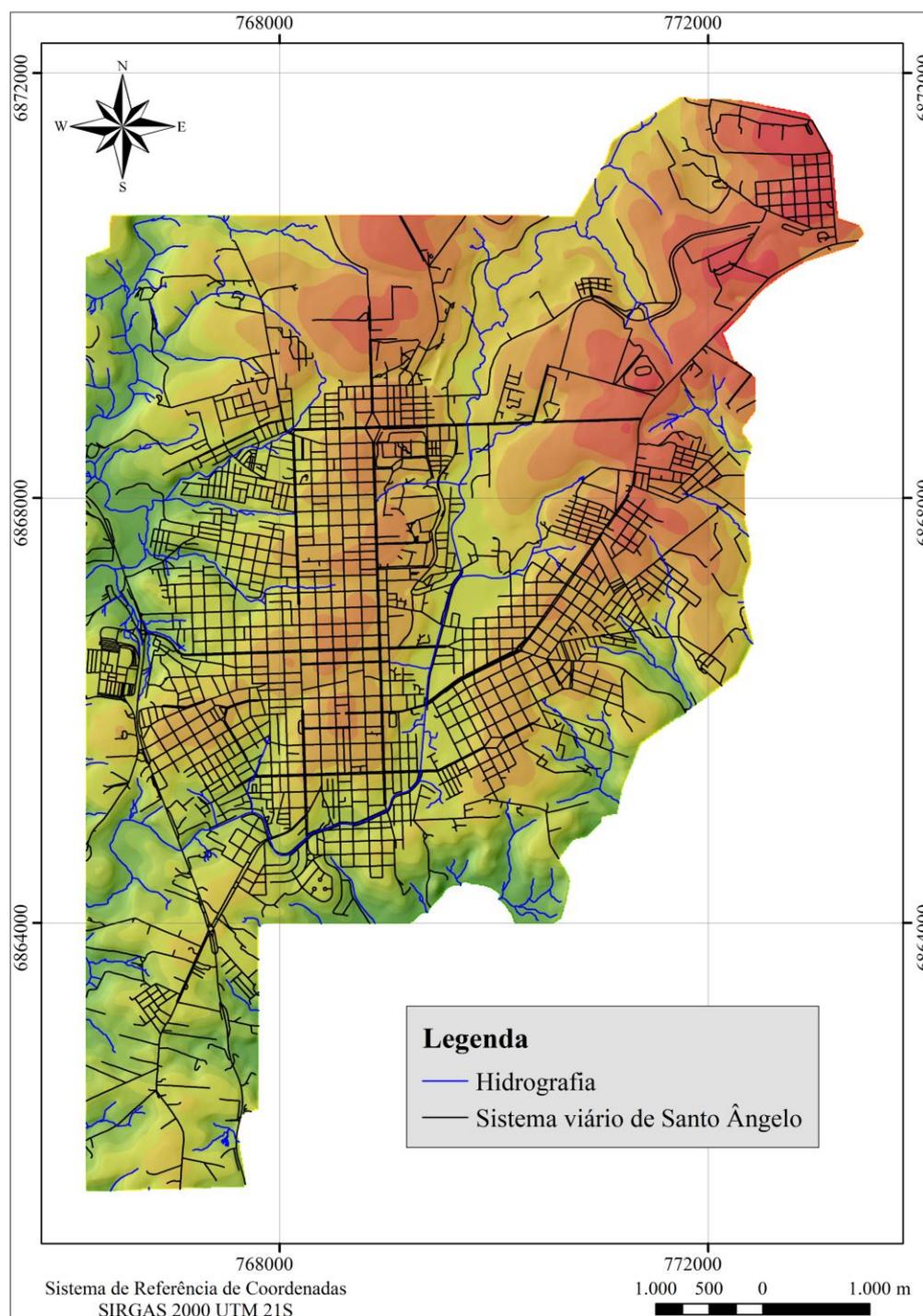
Figura 21 - Mapa hipsométrico da área urbana de Santo Ângelo – RS



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

A partir de uma sobreposição do sistema viário e da hidrografia ao MDTHC, como ilustrado na Figura 22, fica visível que grande parte da área urbana de Santo Ângelo encontra-se localizada no divisor topográfico de duas microbacias hidrográficas, a leste situa-se a microbacia do arroio Itaquirinchim, e a oeste a microbacia do arroio São João. Dessa forma, o sistema de drenagem urbana do município pode ser dividido em duas unidades de acordo com as microbacias, facilitando a gestão e o planejamento da rede de condutos hidráulicos, além de impedir uma sobrecarga muito elevada nas vazões de ambas microbacias. Esse tipo de cenário caracteriza-se como gestão por bacias hidrográficas, que segundo Souza (2013), são ações que valorizam a condição natural dos rios, estimulam a manutenção de áreas permeáveis, recomendam soluções que evitem a transferência de impactos para jusante e priorizam projetos que valorizam soluções compensatórias.

Figura 22 – Mapa de relevo da área urbana de Santo Ângelo - RS



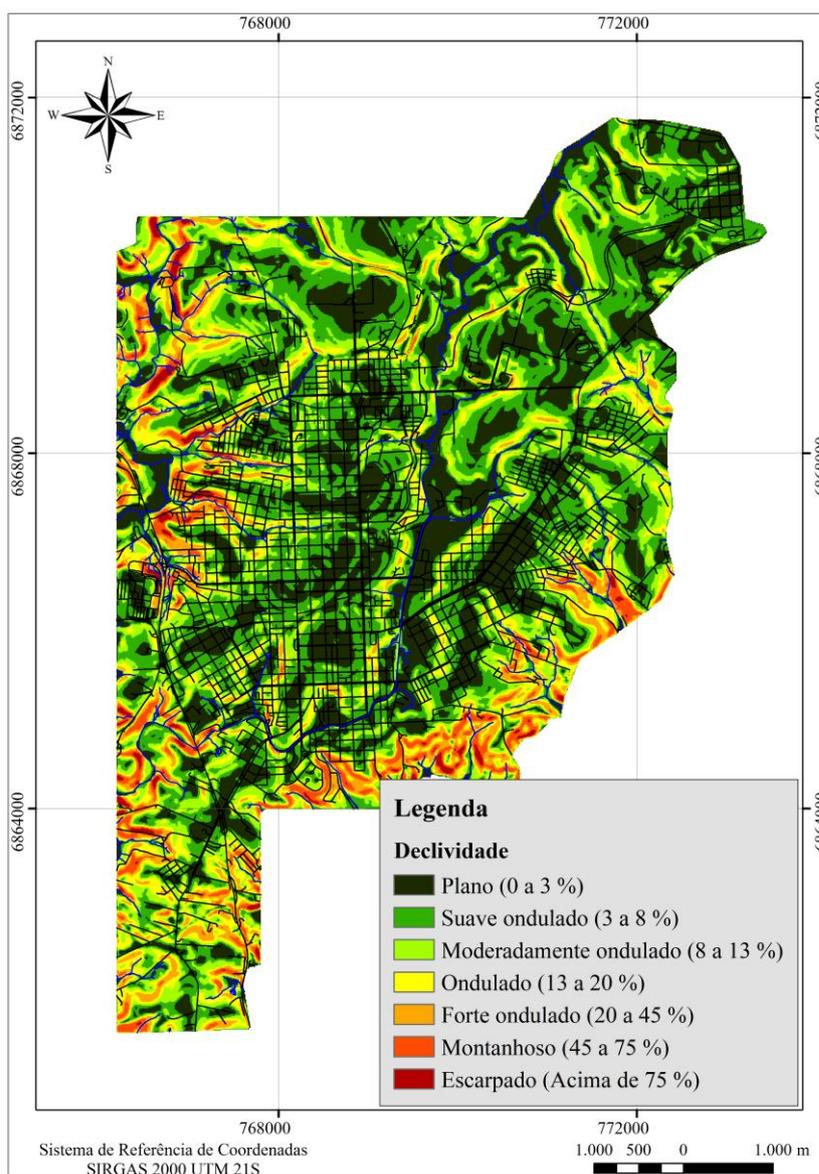
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Na Figura 23 está apresentado o mapa de declividade da área de estudo. O mapa foi classificado conforme orientações da Embrapa, apresentando sete classes de declividade. Observa-se que a área apresenta pouca declividade, sendo em sua maioria classificado como Plano e Suave Ondulado. A declividade é um fator importante no cálculo de dimensionamento

de uma rede de drenagem, pois interfere na velocidade de escoamento da água na rede de condutos, na capacidade hidráulica das sarjetas e sarjetões, além de interferir nas vazões de descarga e nas perdas de cargas em bueiros (NETTO et al., 1998).

A Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano, afirma que não é permitido parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30 %. Analisando o mapa da Figura 23 é possível verificar que em sua maioria, a área urbana de Santo Ângelo encontra-se em concordância com o limite estipulado pela lei, porém, existem áreas que não estão em concordância, sendo a população residente estar sujeita a alguma punição.

Figura 23 - Mapa de declividade da área urbana de Santo Ângelo – RS



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos e os resultados alcançados neste trabalho, pode-se concluir que: (1) o cadastramento das bocas de lobo abrangeu boa parte da área urbana de Santo Ângelo, e mesmo não sendo possível cobrir toda a cidade, resultou em um bom número de bocas de lobos cadastradas. Esse levantamento possibilitou analisar e concluir que o sistema de drenagem do município não comporta os índices pluviométricos, por conta da falta de gestão adequada no manejo das águas pluviais e no planejamento da rede de drenagem, além de falta de manutenção dos dispositivos hidráulicos; (2) a estruturação da base cartográfica digital foi coerente e satisfatória, visto que o Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Correto gerado a partir da ferramenta “*Topo To Raster*” mostrou-se consistente, sendo possível verificar as características do relevo e analisar o fluxo de drenagem da área urbana de Santo Ângelo; (3) o MDTHC permitiu visualizar as microbacias dos arroios Itaquarinchim e São João. Ambas microbacias recebem contribuição das águas pluviais de Santo Ângelo, levando a conclusão que a gestão dessas águas deve ser realizada considerando as duas microbacias; (4) a partir do MDTCH gerou-se os mapas hipsométrico e declividade, que podem ser importantes ferramentas no dimensionamento dos dispositivos de microdrenagem e macrodrenagem, além de auxiliar na política de uso e ocupação do solo do município.

Sendo assim, as cidades brasileiras que têm sofrido com problemas de alagamentos e inundações por conta de intensas precipitações pluviométricas podem buscar auxílio na resolução desses problemas em outras áreas do conhecimento, indo além de soluções estruturais. Nesse sentido, o geoprocessamento mostra-se um instrumento com grande potencial de contribuição no manejo das águas pluviais, pois oferece meios e recursos para elaborar diversos produtos cartográficos que proporcionam um melhor entendimento do terreno e da drenagem das águas na região de interesse, facilitando o planejamento de intervenções tanto estruturais como não-estruturais.

Para estudos futuros sugere-se que seja realizado um levantamento dos condutos, galerias e bueiros do sistema de microdrenagem do município objetivando a criação de um banco de dados com todos os dispositivos de drenagem. Também sugere-se que a partir do MDTHC, delimite-se possíveis áreas de riscos a inundações e alagamentos utilizando softwares de simulações hidrológicas para verificar a vulnerabilidade da população sujeita a esses problemas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. D. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, Janeiro/Março 2002.
- BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**, Brasília, DF, dez 1979.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências**, Brasília, DF, jan 2007.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, p. 431. 1973.
- BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, v. 4, 2006. 194 p.
- BRITTO, F. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 57, p. 221-236, 2006.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.
- FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 137 - 147, Abr/Jun 2003.
- GÓES, V. C. **Simulação hidrológica-hidrodinâmica ao geoprocessamento para avaliação da macrodrenagem em centros urbanos**. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 152. 2009.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. IBGE. Rio de Janeiro. 2010.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017**. IBGE. Rio de Janeiro, p. 82. 2017.
- JUSTINO, E. A.; PAULA, H. M. D.; PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, v. 13, n. 2, p. 16 - 38, Jul/Dez 2011. ISSN 1519-7816.
- LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Tradução de André Schneider; Eliseu José Weber, *et al.* 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

- LOPES, E. S. S. et al. Análise de modelos numéricos de terreno para modelos geomorfológicos. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Goiânia, p. 9, Setembro 2006.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, v. 1, 2013.
- MINISTÉRIO DA DEFESA. EXÉRCITO BRASILEIRO. **Norma para especificação técnica para produtos de conjuntos de dados geoespaciais (ET-PCDG)**. Departamento de Ciências e Tecnologias. Brasília, p. 194. 2016.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2010. 425 p.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 35, 1961.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão ambiental e planejamento urbano**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 312 p.
- NETTO, J. M. D. A. et al. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 1998.
- OLAYA, V. **Sistemas de Información Geográfica**. [S.l.]: [s.n.], 2014. 854 p. Disponível em: <<http://volaya.github.io/libro-sig/>>. Acesso em: 25 Maio 2019.
- POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-24, Janeiro/Março 2000.
- PORTO ALEGRE, P. M. **Plano diretor de drenagem urbana**. DEP - Departamento de esgotos pluviais. Porto Alegre, p. 159. 2005.
- PORTO, R. et al. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M., et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, v. 4, 2015. Cap. 21, p. 943.
- PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- RIBEIRO, H. J.; FERREIRA, N. C. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrológicamente consistentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, 20, Out-Dez 2014. 784 - 805.
- SANTO ÂNGELO. **Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo do Município de Santo Ângelo-RS**. Porto Alegre: UFRGS, v. 1: Diagnóstico do Saneamento Básico, 2011. 187 p.
- SANTOS, F. A. A. D. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação e risco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA. Belém, p. 164. 2010.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, set/out 2017. ISSN 943-952.

SÃO PAULO, P. M. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo. 1999.

SILVA, C. S. D. **Inundações em Pelotas/RS: o uso de geoprocessamento no planejamento paisagístico e ambiental**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 199. 2007.

SILVA, J. X. D.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 366 p.

SOUZA, V. C. B. D. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013. ISSN 2317-563X.

SOUZA, V. C. B. D.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. DÉFICIT NA DRENAGEM URBANA: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 2, p. 162 - 175, 2013. ISSN 2317-563X.

TOMINAGA, E. N. D. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 137. 2013.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, Jan/Mar 2002.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Cap. 3, p. 150.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M., et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015. Cap. 16, p. 943.

WOLSKI, M. S. **Modelagem do terreno e mapeamento digital de solos por extrapolação das relações solo-paisagem**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Santa Maria, p. 255. 2016.

APÊNDICE A – FICHA CADASTRAL

FICHA DE CADASTRO:		BOCA DE LOBO <input type="checkbox"/>
		POÇO DE VISITA <input type="checkbox"/>
LOCALIZAÇÃO:		N°
LADO: <input type="checkbox"/> PAR <input type="checkbox"/> ÍMPAR	COORDENADAS: E = _____ N = _____	
NÚMERO FOTO:	ELEMENTOS DO SISTEMA DE DRENAGEM	
DIMENSÕES: LARGURA: _____ COMPRIMENTO: _____	LARGURA DA RUA	GALERIAS: () SIM () NÃO CANAIS: () SIM () NÃO RAMAIS: () SIM () NÃO
COMENTÁRIOS GERAIS:		
A) CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE: () BOA () SOFRÍVEL () PRECÁRIA		
B) SEÇÃO DE VAZÃO ADEQUADA: () SIM () NÃO		
C) ENTUPIMENTO: () SIM () NÃO		
D) INSPEÇÃO DETALHADA NECESSÁRIA: () SIM () NÃO		
TIPO DE BOCA DE LOBO:		ENTORNO:
<input type="checkbox"/> COM GRELHA <input type="checkbox"/> FERRO <input type="checkbox"/> CONCRETO <input type="checkbox"/> LATERAL <input type="checkbox"/> COM FENDA HORIZONTAL		<input type="checkbox"/> SIMPLES <input type="checkbox"/> MULTIPLA N° ____ <input type="checkbox"/> SIMPLES <input type="checkbox"/> MULTIPLA N° ____ <input type="checkbox"/> ASFALTO <input type="checkbox"/> PARALELEPÍPEDO <input type="checkbox"/> CASCALHO <input type="checkbox"/> BLOCOS CONCRETO <input type="checkbox"/> SEM PAVIMENTO <input type="checkbox"/> COM REVESTIMENTO <input type="checkbox"/> SEM REVESTIEMNTO TIPO DE PAVIMENTO: PASSEIO: OBS:
CROQUI:		

NOME: _____

DATA: __/__/__