



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## GRAFOS GEOESPACIAIS

### RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq)

Lucas Valério de Oliveira (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: [lucasvalerio@live.com](mailto:lucasvalerio@live.com)

Gilberto Ribeiro de Queiroz (CGOBT/DIDPI, Orientador)

E-mail: [gilberto.queiroz@inpe.br](mailto:gilberto.queiroz@inpe.br)

Leonardo Bacelar Lima Santos (CEMADEN, Orientador)

E-mail: [santoslbl@gmail.com](mailto:santoslbl@gmail.com)

Julho de 2018

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>4</b>
2.1	Grafos . . . . .	4
2.2	Ferramentas de Manipulação de Grafos Espaciais . . . . .	4
2.3	Conceitos Hidrológicos . . . . .	5
2.4	Desastres Naturais . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento e Resultados</b>	<b>10</b>
4.1	Avaliação do risco: São José dos Campos . . . . .	10
4.2	Estudo de Caso: Avenida Guadalupe . . . . .	14
4.3	Ferramentas analíticas . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>17</b>

## Resumo

A teoria de grafo é uma área de pesquisa consolidada e muito importante para a solução de diversos problemas envolvendo redes complexas em diferentes áreas. Os avanços das tecnologias de processamento de dados geográficos mudaram o panorama de como olhamos para as características terrestres e de seus fenômenos. A aplicação dos grafos aos dados geográficos, conhecidos como "geografos", fizeram com que as redes espaciais fossem simplificadas a nós ligadas por arestas, desta forma além de atribuímos características espaciais aos elementos de grafo podemos aplicar algoritmos robustos nas redes. Este trabalho tem como objetivo avaliar aplicações que possibilitam a aplicação de geografos para estabelecer uma relação entre: ameaça e susceptibilidade; vulnerabilidade e exposição, para identificar o risco de desastres naturais.

## 1 Introdução

As tecnologias de análises geoespaciais passaram por diversos avanços nos últimos tempos, estas conferiram uma maior qualidade nas informações sobre as regiões da superfície terrestre e das dinâmicas espaciais que nelas ocorrem. A geoinformação vem sendo aprimorada de forma progressiva e isso proporciona aos analistas e gestores um melhor entendimento entre os elementos geográficos e suas relações com outras áreas de conhecimento, como, por exemplo: saúde, mobilidade, geologia, hidrografia e outros [Câmara et al., 2002].

O SIG (Sistema de Informação Geográfica) é responsável por realizar o tratamento computacional de dados geográficos e armazenar esta informação [Câmara et al., 2002]. Um sistema SIG é uma combinação de fatores que se relacionam entre si, sendo eles: hardware, software, informação espacial, algoritmos computacionais e recursos humanos. De acordo com [Fitz, 2008], a ferramenta SIG aliada a dados de qualidade são de grande relevância no processo de tomada de decisões, uma vez que os gestores de projeto podem evitar conclusões precipitadas sobre um determinado aspecto de interesse.

Dentre as diversas interfaces que integram um SIG, a interface de armazenamento é responsável por estruturar todos os conjuntos de dados geográficos. O armazenamento ideal dos dados buscam sempre reduzir tempo e custo de processamento, por meio da otimização das informações e consultas. A maneira mais comum de se armazenar dados em bancos de dados geográficos é utilizando o modelo geo relacional que opera por um

sistema gerenciador de banco de dados (SGBD). Esse tipo de sistema armazena os objetos geográficos de forma dividida de duas formas: atributos dos elementos, que são armazenadas em tabelas, e representações geométricas, que são guardadas em arquivos gráficos, ambas se relacionam por meio da comunicação do banco de dados. [Câmara et al., 2002].

Diversos tipos de problemas relacionados a redes complexas surgiram durante a história da humanidade e foi com o matemático Leonard Euler, em 1736, que se fundamentou a teoria de grafos, a partir de um problema que surgiu na comunidade local, onde pensava na possibilidade de atravessar todas as pontes da região sem repetir nenhum caminho. Euler constatou que não havia modos de realizar tal feito e portanto apresentou uma solução negativa ao caso. O estudo de grafos tornou-se uma poderosa ferramenta para modelar e solucionar os diversos problemas de redes complexas que encontramos nos ramos de produção, computação, engenharia e mobilidade urbana [Swamy and Thulasiraman, 1981].

Dentro do contexto geoespacial existem diversos problemas de redes e portanto podemos associá-los à grafos, onde a representação de informações geográficas são modeladas do modo que exista um conjunto de pontos no espaço (chamados de nós), por exemplo as cidades, os nós são conectados por linhas (chamadas de arestas), que podem representar as ruas que ligam as cidades, sendo que ambos os elementos possuem certos atributos atrelados a si [Câmara et al., 2002]. Comumente chamamos grafos que representam dados geográficos de "geografos", pois todos os elementos constituintes possuem uma posição geográfica.

No que refere-se ao ramo de armazenamento das redes, observou nos últimos anos uma evolução natural da sua integração aos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar aplicações que possibilitam a aplicação de geografos para estabelecer uma relação entre: ameaça e susceptibilidade; vulnerabilidade e exposição, para identificar o risco de desastres naturais. Será utilizado como área de estudo a Avenida Guadalupe situada no município de São José dos Campos-SP, que devido a um evento de inundação, em 2013, ocasionou no rompimento das estruturas de uma ponte.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Grafos

De acordo com [Kreyszig, 2000], um grafo  $\mathbf{G}$  consiste em dois conjuntos finitos, um conjunto  $\mathbf{V}$  de pontos, chamados de vértices, e outro conjunto  $\mathbf{E}$  de linhas de conexão, chamados de arestas, de tal modo que cada aresta se liga a dois vértice, um em cada extremidade. Desta forma, escrevemos  $\mathbf{G} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ . Os vértices de um grafo podem ser representados por  $\mathbf{v}_n$ , onde  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Já as arestas podem ser representadas por  $\mathbf{v}_i$ , onde  $i = 0, 1, 2, \dots$ , cada aresta está associada a um par de extremidades, por exemplo,  $\mathbf{e}_1 = (\mathbf{v}_n, \mathbf{v}_m)$ , a ilustração de um grafo pode ser visto na Fig. 1. De acordo com a literatura, dois vértices são adjacentes em  $\mathbf{G}$  se eles são conectados por uma aresta em  $\mathbf{G}$  (ou seja, se eles são as duas extremidades de alguma aresta em  $\mathbf{G}$ ).

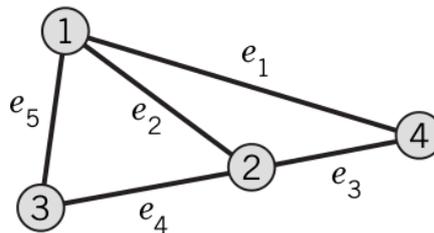


Figura 1: Grafo consistindo em 4 vértices e 5 arestas  
Fonte: [Kreyszig, 2000]

Para manipular grafos em computadores, utiliza-se matrizes ou listas na forma de estruturas apropriadas de dados. A estrutura mais comum é a matriz de adjacência que é definida da seguinte forma  $a_{ij} = 1$  se e somente se os dois vértices  $i$  e  $j$  forem adjacentes em  $G$ . Por definição nenhum vértice é adjacente a si mesmo, portanto,  $a_{ij} = 0$ .  $\mathbf{A}$  é simétrica,  $a_{ij} = a_{ji}$ . A Fig. 2 é uma ilustração de um grafo e sua representação em forma matricial, utilizando a matriz de adjacência.

### 2.2 Ferramentas de Manipulação de Grafos Espaciais

A ferramenta ComplexNetGIS foi desenvolvida como uma extensão do software ArcGIS e sua função principal é gerar análise e exibição de grandes

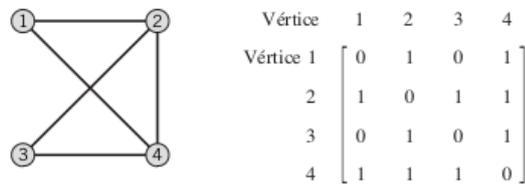


Figura 2: Matriz de Adjacência de um Grafo

Fonte: [Kreyszig, 2000]

redes espaciais [Caschili, 2010]. A biblioteca NetworkX é utilizada como base do desenvolvimento do projeto.

A "Urban Network Analysis" foi desenvolvida para ser uma extensão do software ArcGIS-ESRI. O objetivo é bem definido já que tem como vista a tem função de visualizar e analisar redes relacionadas á arruamentos urbanos. De acordo com os responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta ela surgiu com o proposito de atender as necessidades das áreas de: designer, arquitetura, planejamento, geografia e analise espacial relacionados a configuração espacial das cidades [Sevtsuk and Mekonnen, 2012]. A aplicação da teoria de grafos as estruturas de redes urbanas é de representar as junções das vias como nós e os seguimentos das ruas como arestas [Porta et al., 2006].

A GIS4Graph e uma ferramenta destinada a atuar em plataforma Web e que busca a manipulação de redes em formato ShapeFile. O software GeoCNet é apresentado no mesmo contexto, porém recebe os dados de entrada por ShapeFile de vértices junto com um arquivo texto de matriz de adjacência que é responsável por indicar as conexões entre os vértices. [Santos et al., 2017].

O Oracle Database tem incluso em seu catalogo a extensão Network Data Model (NDM), parte do Oracle Spatial, permite aos usuários gerarem modelos e analises dos dados em forma de grafos [Oracle, 2016].

## 2.3 Conceitos Hidrológicos

Segundo [Tucci et al., 2012], bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

Portanto as bacia hidrográfica formam um sistema de entradas e saídas que se relacionam formando um sistema hídrico.

Os cursos de água, ou redes de drenagem, podem ser classificados por meio de uma metodologia conhecida como Horton-Strahler. Esta classificação atribuí um grau para cada trecho após uma ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia hidrográfica. As cabeceiras, trechos onde não existem afluentes, recebem o grau 1, para cada confluência a seguir aumenta-se em 1 grau até chegar no trecho de exultório, que será o grau  $n$  [Guimarães, 2017].

## 2.4 Desastres Naturais

Fenômenos naturais severos, como, inundações, escorregamentos, secas, entre outros, estão muito relacionados com as características regionais, bem como, solo, condições meteorológicas, vegetação. O termo Desastre natural é utilizado quando um fenômeno intenso resulta em danos, que pode ser humano ou material, e prejuízos sócio-econômicos para uma população de seres humanos.

De acordo com [de Castro, 1999], desastre é um resultado de eventos adversos, que podem ser naturais ou provocados pelo homem sob um determinado ecossistema vulnerável, causando danos e prejuízos. Os desastres podem ser quantificados em função dos danos e prejuízos em termo da intensidade, enquanto que os eventos adversos são quantificados em termos de magnitude. Portanto existe uma interação entre a amplitude do evento adverso e o quão vulnerável é o sistema que será afetado.

A avaliação de riscos é um parâmetro que estima o risco aos indivíduos ou populações e que depende de diversos fatores, como, ameaça, susceptibilidade, exposição e vulnerabilidade. A percepção do risco é um parâmetro fundamental para traçar possíveis cenários de risco e subsidiar políticas públicas durante tomadas de decisões para mitigação de desastres naturais.

Segundo [de Castro, 1999], risco é entendido como sendo uma medida de danos e prejuízos, expressa em termos de: probabilidade estatística de ocorrência e intensidade ou grandezas das consequências que podem ocorrer, essa relação corresponde as ameaças e a vulnerabilidade do sistema. Uma ameaça é definida como sendo uma estimativa de ocorrência de um evento adverso, e portanto é dada em termos de probabilidade estatística. Vulnerabilidade no entanto é uma condição do sistema que será afetado, podendo ser definido como uma razão entre intensidade do dano e a mag-

nitidade da ameaça.

De acordo com [IPPLAN, 2014], São José dos Campos possui 55 zonas de tráfego, que são consideradas as unidades mínimas de agregação de acordo com os dados da pesquisa realizada. Em um nível maior de zoneamento estão as macrozonas de tráfego que são agrupamento das zonas de tráfego em 7 grupos. O índice de mobilidade geral é de 2,57 viagens por habitante/dia, uma média alta se comparada com municípios de mesmo porte, que é de 1,91. Estes dados demonstram que o fator de exposição ao risco é ainda maior, já que um evento adverso pode causar prejuízos no deslocamento da população. A Figura 3 classifica cada uma das macrozonas de tráfego da cidade.

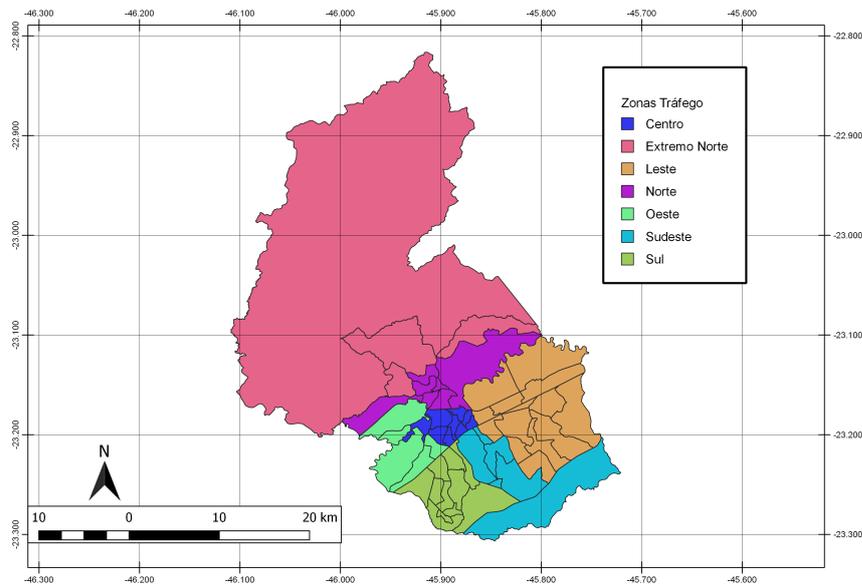


Figura 3: Macrozonas de tráfego da cidade de São José dos Campos.  
Fonte: Elaborado pelo autor com dados de [IPPLAN, 2014]

### 3 Materiais e Métodos

O município de São José dos Campos, Figura 4, situado na região metropolitana do Vale do Paraíba, possui uma área total de  $1.100 \text{ km}^2$ , sendo  $362 \text{ km}^2$  de área urbana [IBGE, 2014]. O rio Paraíba do Sul é o principal curso d'água da cidade, permeando com alguns dos seus afluentes toda a área urbana.

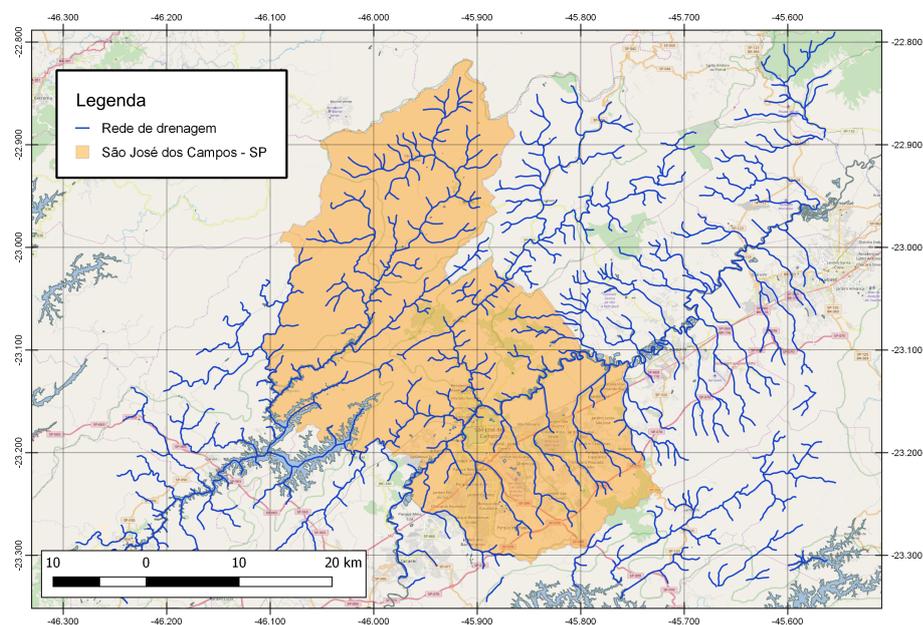


Figura 4: Mapa dos limites da cidade de São José dos Campos-SP e sua rede hidrográfica

Fonte: Elaborado pelo autor

A área de estudo selecionada para este trabalho situa-se na Avenida Guadalupe, no Bosque dos Eucaliptos, zona sul da cidade e encontra-se na macrozona de tráfego sul do município, representado na Figura 5. A bacia à montante da avenida Guadalupe possui uma área total de  $7,7 \text{ km}^2$ , ela faz parte da bacia do Córrego Senhorinha que possui uma área de  $45,9 \text{ km}^2$ .

Neste trabalho, o risco será tratado como uma combinação de parâmetros expressos por uma função  $R = (A, V, E)$ , onde cada parâmetro representa: A: Ameaça, V: Vulnerabilidade e E: Exposição.

O fator de vulnerabilidade será calculado a partir do índice de resistência a mobilidade (IRM) [Miola et al., ]. O IRM é um valor que iden-

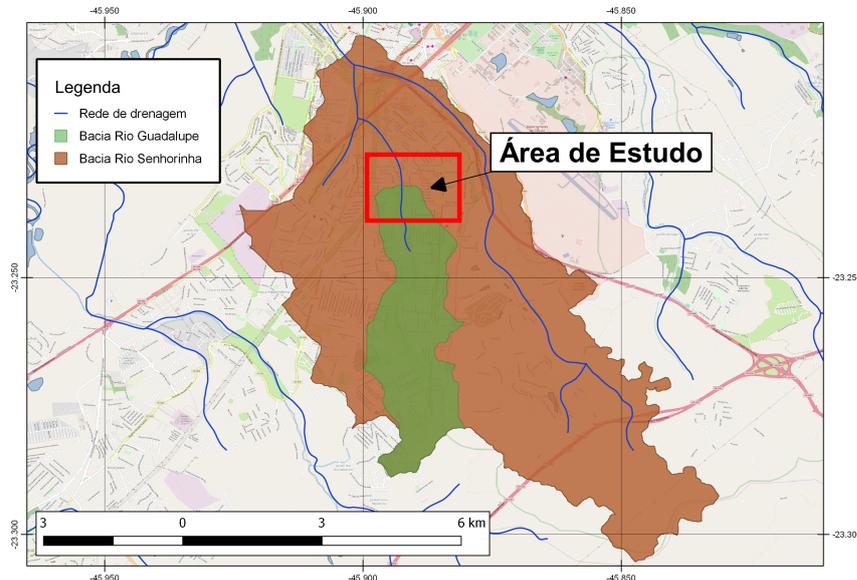


Figura 5: Indicação da área de estudo inserida na bacia do Rio Senhorinha e com a bacia a montante do ponto de interesse no Rio Guadalupe.

Fonte: Elaborado pelo autor

tifica uma classificação do tipo da via e sua importância entre os deslocamentos da população, com uma escala de 0 a 3, onde, 0 representa a máxima fluidez e 3 a menor fluidez. Os dados vetoriais de arruamento urbano foram obtidos de GeoFabrik que realiza o pré-tratamento de dados do OpenStreetMap (OSM), disponíveis no site: [www.geofabrik.de](http://www.geofabrik.de). O índice de IRM foi construído para cada tipo de via e foi associado aos atributos de classificação do OSM. 1.

As ameaças serão definidas por meio do método Strahler e da morfometria da bacia a montante do ponto de interesse ( $km^2$ ). Onde um maior grau de classificação indica uma maior possibilidade de ocorrer um evento adverso.

A exposição é o fator correspondente ao fluxo de pessoas e as rotas para deslocamento. Serão utilizados dados da pesquisa Origem-Destino [IPPLAN, 2014] e rotas obtidas por meio de dados do OSM.

Os dados de malhas digitais foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizado no site: [mapas.ibge.gov.br](http://mapas.ibge.gov.br). Os dados de redes hidrográficas utilizados são disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), no site: [metadados.ana.gov.br](http://metadados.ana.gov.br). Para extração de bacias hidrográficas foram utilizados dados de modelo digital de elevação, com resolução espacial de 30m, da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM),

Classe de mobilidade viária	Classificação OSM	Tipificação	IRM
Autoestradas (Classe especial)	511x	Rodovias de asfalto, concreto ou calçamento, com um número de quatro faixas, largura mínima 12 m de, com separação física entre pistas de tráfego (muretas ou canteiro central).	0
Rodovias pavimentadas (Classe 1)	512x e 513x	Vias de asfalto, concreto ou calçamento, com um número variado de faixas, inferior a 4 pistas sem separação física entre as pistas de tráfego.	1
Rodovias não pavimentadas (Classe 2)	514x	Vias transitáveis permanentemente com revestimento solto (estradas de terra entre povoados) e um número variável de faixas, que permitem tráfego mesmo em época de chuvas.	2
Caminhos e Trilhas (Classe 3)	515x	Vias transitáveis somente em tempo bom e seco, sem revestimento, caracterizado pela inexistência de conservação permanente, com piso e traçado irregulares; geralmente impraticáveis ao tráfego de veículos a motor, com largura média inferior a 3 m.	3

Tabela 1: Classificação do sistema viário, em relação aos atributos do OSM, e do índice IRM.

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de [Miola et al., ]

disponibilizadas no site: [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov).

O processamento e construção de estruturas de grafos em banco de dados podem ser feitos a partir de varias ferramentas analíticas existentes. Desta forma sera feito uma avaliação com as particularidade das seguintes ferramentas: ComplexNetGIS, Urban Network Analysis, NetworkX, GIS4Graph, Connecter e Oracle Network Data Model Graph. Para avaliar estas serão necessários compiladores de Python , C/C++ e banco de dados POSTGRESQL.

O processamento de arquivos vetoriais e raster foram feitos por meio das ferramentas TerraView e QGIS. O Terraview é um software GIS desenvolvido e distribuído pelo INPE com código fonte aberto [INPE-DPI, 2008].

## 4 Desenvolvimento e Resultados

### 4.1 Avaliação do risco: São José dos Campos

O indicador de vulnerabilidade foi definido como sendo o parâmetro que depende da classificação do tipo de via urbana e sua resistência a mobilidade. Para isso foi gerado um mapa que classifica os tipos de via por ordem de importância para o sistema de tráfego da cidade de São José dos Campos-SP, conforme a Figura 6.

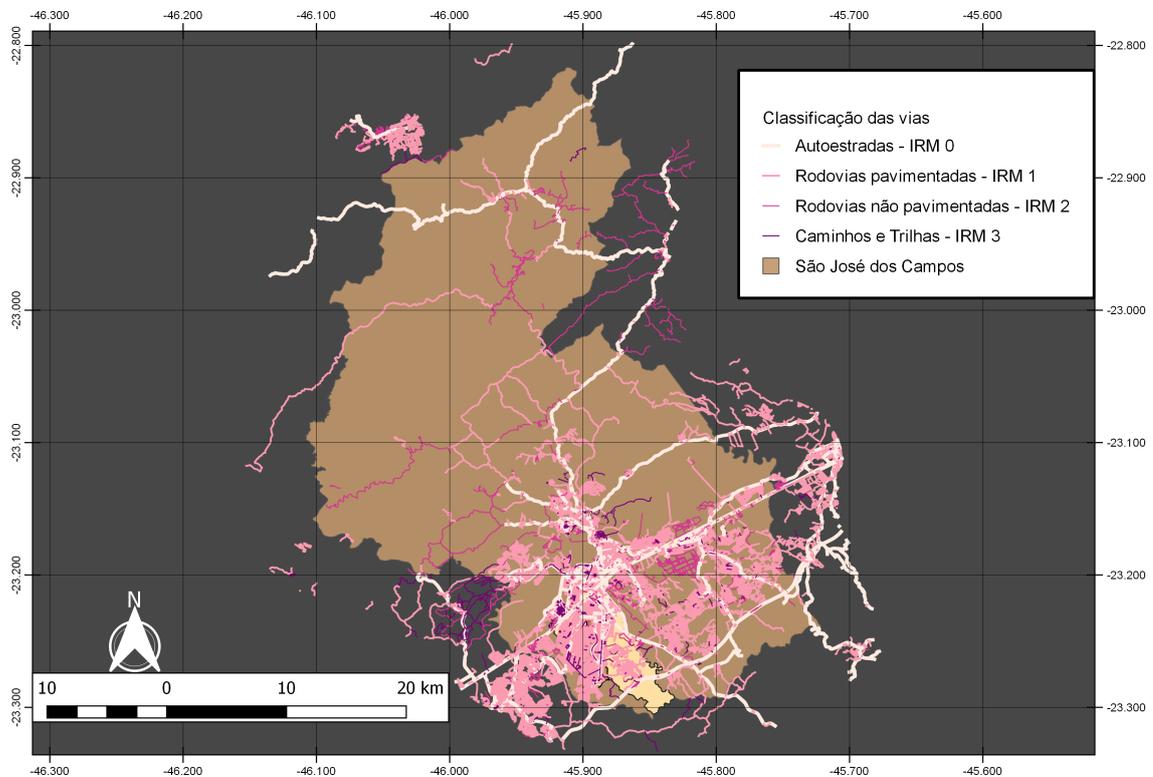


Figura 6: Visão geral dos dados do OSM classificados com base no índice IRM.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos na Figura 6, apresentaram uma alta concentração de arruamentos urbanos na parte inferior do município de São José dos campos. Nota-se também que a expansão urbana acontece de forma horizontal, ao longo da rodovia Dutra, que é uma das principais do país.

Com base na rede de drenagem do município, gerou-se a classificação Strahler da rede conforme a Figura 7. O grau máximo encontrado durante a classificação do município foi 6, com predomínio de trechos com grau 1 e 2. Esse resultado, associado a morfometria da bacia, será importante para a medição do parâmetro de ameaça.

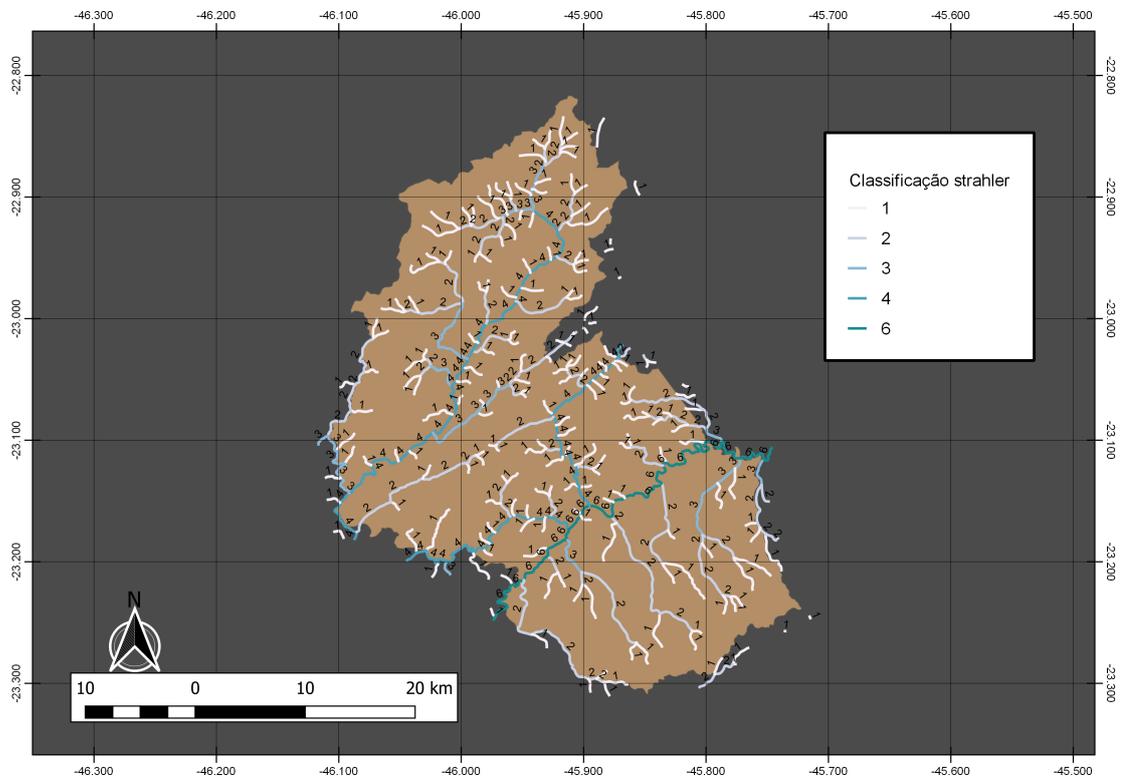


Figura 7: Classificação Strahler dos trechos de drenagem de São José dos Campos.

Fonte: Elaborado pelo autor, com dados de drenagem da ANA.

A dinâmica de deslocamentos dentro do município é um fator fundamental identificação do grau de exposição ao risco. Para isso foi feito um mapeamento com dados origem e destino que representa a soma das viagens de entrada e saída de cada microzonas de tráfego, conforme Figura 7.

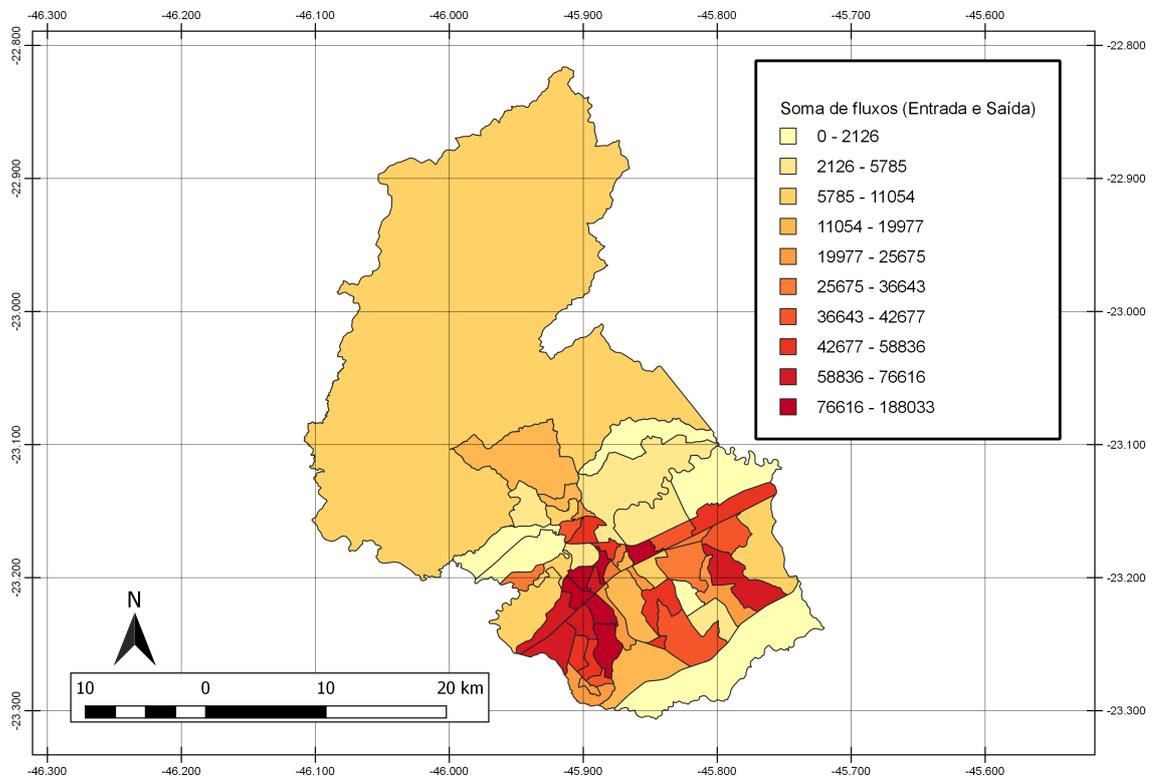


Figura 8: Mapa da soma de fluxos da Entradas e Saídas de pessoas em cada microzona de tráfego da cidade de São José dos Campos.

Fonte: Elaborado pelo autor

Relacionando os dados de zonas de tráfego, Figura 8, com as informações de arruamento, Figura 6, observa-se que existe uma maior concentração de viagens em regiões próximas à rodovia Dutra, além disso a macrozona sul apresentou-se como local de ocorrência da maior parte de fluxos de pessoas dentro do município. Como a densidade de vias que oferecem resistência estão também em zonas onde o fluxo é muito alto isso pode elevar o risco nesses locais.

A cada intersecção entre rede de drenagem e arruamento urbano foi computado um produto entre o grau strahler da região e o IRM que caracteriza as vias. Cada intersecção então foi atribuída a uma otobacia e a uma microzona, com base nesses dois parâmetros foi obtido os valores de morfometria da bacia e dos fluxos em que cada intersecção está inserida. O valor de risco então foi obtido pelo produto de todas as grandezas e foi padronizado entre 0 e 1 para ser representado em porcentual conforme a figura 8.

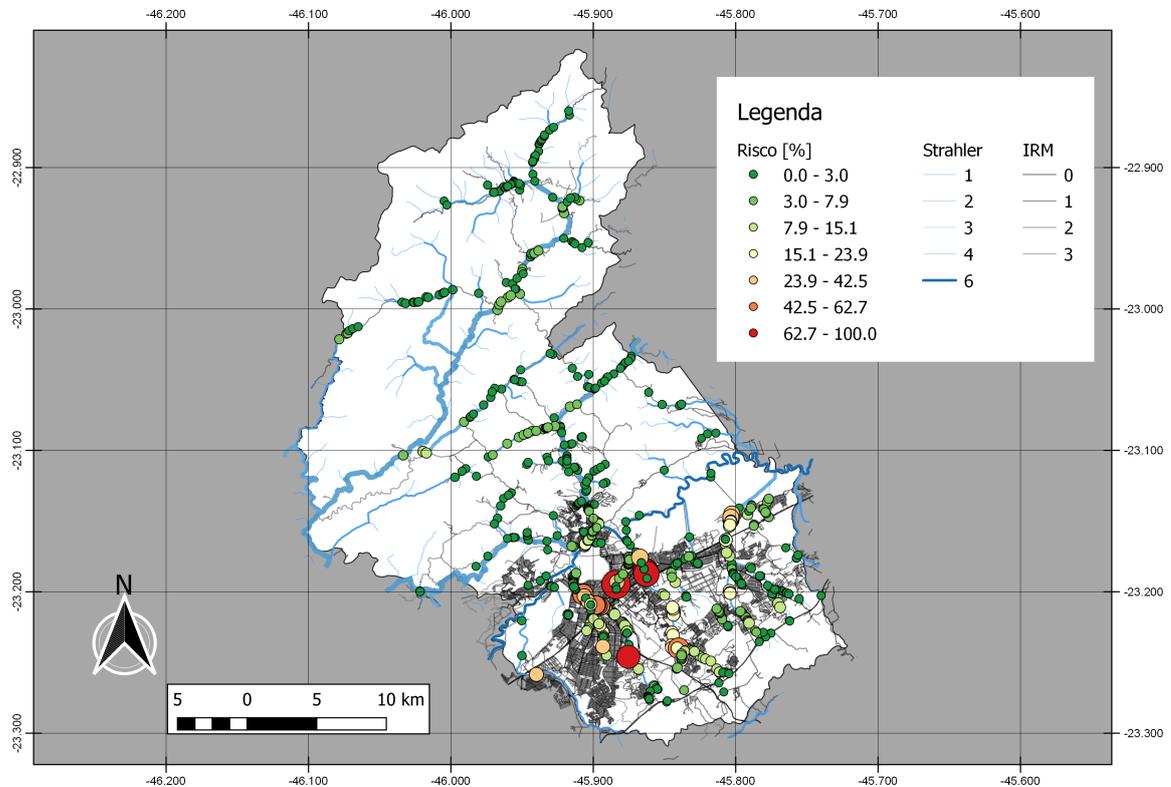


Figura 9: Índice de risco,  $R=(V,A,E)$ , para o município de São José dos Campos.

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado apresentado, Figura 9, indica que os pontos onde existe o maior risco são em regiões do município onde possui vias com maior resistência, que são próximas de zonas residenciais/urbanas e locais com um fluxo elevado de pessoas. Além disso nota-se que, pontos de intersecção com elevado grau de Strahler muitas vezes são compensados por vias que oferecem uma resistência nula ou com valor baixo. O contrario também acontece, mesmo tendo um baixo valor de grau Strahler é possível notar valores de risco muito alto quando associados a tamanho de bacia, IRM e fluxo.

## 4.2 Estudo de Caso: Avenida Guadalupe

A ponte da avenida Guadalupe situa-se na zona sul de São José dos Campos, esta estrutura, liga os bairros Parque Industrial e Jardim Satélite. Sua

estrutura está elevada a 6 metros em relação a calha principal do Córrego Senhora, que tem diversas obras de canalização. No dia 10 de abril de 2013 ocorreu um forte evento de precipitação na região resultando na elevação da altura a ponto de causar danos a estrutura para um posterior desmoronamento no dia 20 de abril de 2013. Importantes veículos de comunicações locais, como: G1 – Portal de Notícias, vinculado ao grupo Globo / Rede Vanguarda e Jornal O Vale, repercutiram sobre o caso com depoimentos da população.

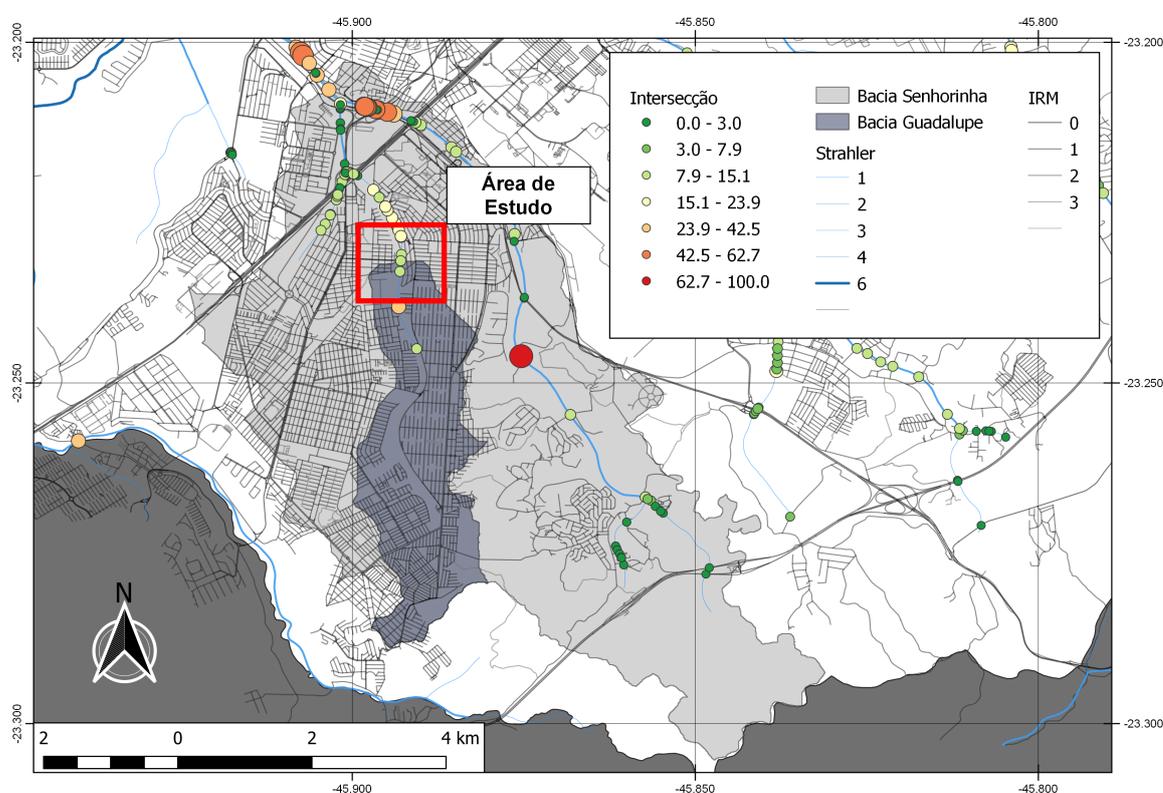


Figura 10: Índices de riscos associados a região de estudo de caso, a bacia Guadalupe corresponde a bacia à montante local do caso.

Fonte: Elaborado pelo autor

O trecho de estudo apresentou com base nos cálculos de risco valores entre 7.9% e 15.1%, o demonstrando-se que mesmo estando mais próximo ao limite inferior o risco existe neste local e não deve ser descartado. Constantemente obras de engenharia são aplicadas a trechos de drenagem com objetivo de orientar ou direcionar um escoamento do rio, porém, em muitos casos falta um planejamento adequado.

A avaliação de riscos é algo fundamental em políticas públicas e entender o risco como uma associação de fatores eleva o nível da discussão com um recurso que irá auxiliar na tomada de decisão, planejamento e execução. Atuar e monitorar as áreas de risco, principalmente onde o risco é elevado, 60%, resultam em mitigação de danos e prejuízos socioeconômicos.

### 4.3 Ferramentas analíticas

A análise de ferramentas analíticas que processam e armazenam dados de rede, são fundamentais para estudos que envolvem redes complexas. Dados de Arruamentos e Redes de drenagem são bons exemplos de redes que podem ser extraídas diversas informações que podem auxiliar no entendimento da topologia e as fragilidades que existem nos sistemas. A seguir será feita uma análise das principais ferramentas destinadas a manipulação de grafos.

A ferramenta ComplexNetGIS tem como base de desenvolvimento a linguagem de programação Python e utiliza alguns recursos da biblioteca NetworkX. Esta ferramenta trás duas abordagens no processamento de dados. A primeira abordagem permite ao usuário construir um grafo a partir de uma estrutura de rede, O segundo foco é destinado a analisar as estruturas de redes construídas.

As funções internas do NetworkX desempenham apenas de leitura e escrita de dados vetoriais para grafos e vice-versa. A ferramenta trás uma vantagem de ser simples o modo de trabalhar com dados de rede e portanto a ComplexNetGIS acaba por reutilizar a NetworkX.

A "Urban Network Analysis" e similar a "ComplexNetGIS" também é desenvolvida em Python e é uma extensão do ArcGIS, porém não utiliza nenhuma função de bibliotecas já existentes como a NetworkX. Todos os códigos-fontes do projeto são disponibilizado em repositório GIT e recebe atualizações até o momento da pesquisa.

A ferramenta Network Data Model (NDM), armazena os objetos em nós que serão relacionados entre si por pares ordenados que é armazenado em uma lista que contem os pares ou então em forma de caminhos. O NDM pode também usar representação de grafo direta, indireta, aleatória, escalada ou então hierarquizada.

De forma a facilitar o acesso dos usuários, a ferramenta GIS4Graph, atual no segmento web e funciona a partir de qualquer navegador, descartando a instalação local. Foram observados duas formas de entrada de

dados, sendo a primeira via ShapeFile de linhas, e a segunda via arquivo do OpenStreetMap. Oferece como saída um novo shape de linhas com propriedades típicas de redes complexas, além da lista de nós e adjacências em arquivos JSON. Tem como base de desenvolvimento as linguagens Python e JavaScript. É uma biblioteca livre, em fase de desenvolvimento, disponível no Github.

Paralela a Gis4Graph a ferramenta GeoCNet oferece o tratamento de dados de entrada por ShapeFile de nós junto com um arquivo texto de matriz de adjacência que é responsável por indicar as conexões entre os vértices. O processo tem como saída um novo shape de nós e um shape de arestas com propriedades típicas de redes complexas. É uma biblioteca livre, em fase de desenvolvimento com repositório GitHub. Dentre todas as ferramentas a única que trabalha com entrada de matriz de adjacência é esta. Ambas as ferramentas, Gis4Graph e GeoCNet, foram aplicadas a diversas aplicações como: Transporte, Mobilidade Urbana e Dados meteorológicos [Santos et al., 2017].

## 5 Conclusões

O objetivo desta pesquisa foi construir uma metodologia de mensuração do índice de risco associado aos eventos de inundação e suas consequências na mobilidade urbana. Para isso buscou-se alternativas que envolvem recursos de banco de dados geográficos com suporte a grafos. O escopo definido proporcionou o uso de dados consistentes que se adaptaram a implementação conceitos com fim de buscar as vulnerabilidades de um sistema urbano frente a um possível dano. Os resultados obtidos no estudo de caso, mostrou que pode-se aplicar o conhecimento geográfico para detectar fragilidades nos sistemas urbanos e então atuar no risco de forma antecipada para evitar maiores prejuízos. Dessa forma traçar cenários de risco pode subsidiar políticas públicas durante projetos urbanos com objetivo principal de mitigar impactos de desastres com a aprimoramento das informações utilizadas neste trabalho. Como perspectivas futuras deste trabalho, deve-se pensar nas dinâmicas de deslocamento da rede de arruamentos e entender o efeito causado devido ao rompimento de um trecho da rede, indicando assim a vulnerabilidade topológica que deve ser levada em conta no cálculo do risco.

## Referências

- [Câmara et al., 2002] Câmara, G., Monteiro, A. M., Fucks, S. D., and Carvalho, M. S. (2002). Análise espacial e geoprocessamento. *Análise espacial de dados geográficos*, 2.
- [Caschili, 2010] Caschili, S. (2010). Complexnetgis, a tool for the analysis of complex spatial networks. *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale*, 2:233–242.
- [de Castro, 1999] de Castro, A. L. C. (1999). *Manual de planejamento em defesa civil*. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil.
- [Fitz, 2008] Fitz, P. R. (2008). *Geoprocessamento sem complicação*. Oficina de textos.
- [Guimarães, 2017] Guimarães, R. C. (2017). Capítulo 2-bacia hidrográfica.
- [IBGE, 2014] IBGE, I. (2014). Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Acesso em*, 7.
- [INPE-DPI, 2008] INPE-DPI, O. (2008). projeto terraview.
- [IPPLAN, 2014] IPPLAN (2014). *Atlas da pesquisa origem e destino - panorama da mobilidade em São José dos Campos*. Editora Cubo.
- [Kreyszig, 2000] Kreyszig, E. (2000). *Matemática Superior Para Engenharia. Volume 3*. Grupo Gen-LTC.
- [Miola et al., ] Miola, A. C., da Silveira, G. L., and Maziero, E. Desenvolvimento de método para classificação da fragilidade viária em áreas de alagamento.
- [Oracle, 2016] Oracle (2016). Oracle spatial and graph - network data model graph. (Accessed on 19/01/2018).
- [Porta et al., 2006] Porta, S., Crucitti, P., and Latora, V. (2006). The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B: planning and design*, 33(5):705–725.

- [Santos et al., 2017] Santos, L. B., Jorge, A. A., Rossato, M., Santos, J. D., Candido, O. A., Seron, W., and de Santana, C. N. (2017). (geo) graphs-complex networks as a shapefile of nodes and a shapefile of edges for different applications. *arXiv preprint arXiv:1711.05879*.
- [Sevtsuk and Mekonnen, 2012] Sevtsuk, A. and Mekonnen, M. (2012). Urban network analysis. *Revue internationale de géomatique-n*, 287:305.
- [Swamy and Thulasiraman, 1981] Swamy, M. N. and Thulasiraman, K. (1981). *Graphs, networks, and algorithms*. John Wiley & Sons.
- [Tucci et al., 2012] Tucci, C. E. et al. (2012). Hidrologia: ciência e aplicação. *São Paulo: Editora da*.