



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GABRIELA CACILDA GODINHO DOS REIS

**MEDIDA DE CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO
EM TEORIA DOS GRAFOS NA CARACTERIZAÇÃO E
ANÁLISE DA MALHA VIÁRIA URBANA DA SEDE DO
MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

Santarém, Pará

2017

GABRIELA CACILDA GODINHO DOS REIS

**MEDIDA DE CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO
EM TEORIA DOS GRAFOS NA CARACTERIZAÇÃO E
ANÁLISE DA MALHA VIÁRIA URBANA DA SEDE DO
MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Professor Dr. Rodolfo Maduro Almeida.

Santarém, Pará

2017

Gabriela Cacilda Godinho dos Reis

**MEDIDA DE CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO
EM TEORIA DOS GRAFOS NA CARACTERIZAÇÃO E
ANÁLISE DA MALHA VIÁRIA URBANA DA SEDE DO
MUNICÍPIO DE SANTARÉM/PA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: ____ de dezembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Rodolfo Maduro Almeida
(Orientador – UFOPA)

Prof. Me. Ubiraelson Ruela – IEG

Prof. Me. José Reginaldo Pinto de Abreu – ULBRA

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por mais esta etapa vencida.

A meu pai Antônio Carvalho dos Reis por todo incentivo, amor e apoio para hoje eu estar como e onde estou.

A meu orientador Rodolfo Maduro Almeida pelo auxílio na implementação deste projeto, por compartilhar seu conhecimento e fazer com que esse trabalho fosse concluído com êxito.

A todos que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho.

Gabriela Cacilda Godinho dos Reis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Malha viária urbana da sede do município de Santarém	11
Figura 2 – Representações de um grafo	13
Figura 2.1 – Exemplos de grafos direcionados e não direcionados	14
Figura 2.2 – Grafo P	15
Figura 3 – Esquema simplificado das 1º e 2º etapas da metodologia do trabalho	17
Figura 4 – Esquema simplificado da 1ª Etapa da metodologia	17
Figura 4.1 – Esquema simplificado da 2º Etapa da metodologia	18
Figura 4.2 - Malha viária da sede de Santarém da camada OpenStreetMap	19
Figura 4.3 – Mapa da malha viária urbana da sede de Santarém após tratamento	20
Figura 4.4 – Esquema simplificado do cálculo da centralidade por Intermediação.....	21
Figura 5 – Mapa da cobertura das vias da malha viária Urbana da sede de Santarém-PA	22
Figura 5.1 - Mapa da Centralidade Por Intermediação da malha viária urbana da sede de Santarém-PA, sem considerar sentido de via	23
Figura 5.2 - Mapa da Centralidade Por Intermediação da malha viária urbana da sede de Santarém-PA, considerando sentido de via	24
Figura 5.3 - Histograma da centralidade de intermediação da rede direcionada e não direcionada e distribuições cumulativas	25
Figura 5.4 - Histograma da centralidade por intermediação do grafo direcionado e distribuição cumulativa.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grau dos vértices do grafo da figura 214

Tabela 2 – Caminhos geodésicos do grafo P15

RESUMO

Por meio de técnicas de geoprocessamento, dados georreferenciados da malha viária urbana do município de Santarém, estado do Pará, podem ser convertidos em um grafo, onde os vértices são os cruzamentos e as arestas são os caminhos entre estes. O uso do ambiente de computação estatística R, através da biblioteca *igraph*, possibilita alcançar a medida de centralidade de intermediação de um vértice ou aresta. Esta medida de centralidade está relacionada com a importância estrutural que um nó ou aresta possui dentro de uma rede. Para encontrar os caminhos mais importantes em relação a centralidade por intermediação é necessário contabilizar a quantidade de vezes que cada vértice ou aresta é percorrido por um caminho mínimo. A medida de centralidade por intermediação é indicadora de influência, de maior ou menor tráfego permitido, consequência sobre os outros, caso ocorra remoção, alteração ou interrupção. Neste sentido e considerando a expansão urbana não organizada, somada ao crescente uso de veículos motorizados, planejamento urbano deficiente e à dificuldade de adaptação da infraestrutura das vias a crescente demanda, que têm gerado cenário de congestionamento e difícil mobilidade nas vias urbanas, se propõe este trabalho, que visa utilizar a medida de centralidade por intermediação em teoria dos grafos para verificar quais são as vias mais importantes para deslocamento da malha viária urbana da sede do município de Santarém, estado do Pará.

Palavras-chaves: teoria dos grafos, centralidade de intermediação, malha viária urbana.

ABSTRACT

By means of geoprocessing techniques, georeferenced data of the urban road network of the municipality of Santarém, state of Pará, can be converted into a graph, where the vertices are the intersections and the edges are the paths between them. The use of the statistical computing environment R, through the igraph library, makes it possible to reach the betweenness centrality of a vertex or edge. This measure of centrality is related to the structural importance that a node or edge has inside a network. To find the most important paths in relation to betweenness centrality it is necessary to count the number of times each vertex or edge is traversed by a minimum path. The betweenness centrality is indicative of influence, of greater or lesser traffic allowed, consequence on the others, in case of removal, alteration or interruption. Considering the unorganized urban expansion, together with the increasing use of motor vehicles, poor urban planning and the difficulty of adapting the infrastructure of the roads to the growing demand, which have generated congestion and difficult mobility in urban roads, this work is proposed, which aims to use the betweenness centrality in graph theory to verify which are the most important routes for displacement of the urban road network of the municipality of Santarém, state of Pará.

Keywords: graph theory, betweenness centrality, urban road network.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVO	12
2.1	GERAL.....	12
2.2	ESPECÍFICOS	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1	TEORIA DOS GRAFOS E MEDIDAS DE CENTRALIDADE	12
3.2	ANÁLISE DE MALHA VIÁRIA URBANA E CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	SOFTWARES UTILIZADOS	17
4.2	1º ETAPA: USO DO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	18
4.2.1	Representação da malha viária urbana por um grafo	18
4.3	2º ETAPA: CÁLCULO DA CENTRALIDADE DE INTERMEDIÇÃO.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	26
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

Diversos sistemas no mundo real podem ser representados através de redes (BORBA 2013). O estudo de redes complexas é um tema interdisciplinar que abrange áreas como Ciência da Computação, Matemática, Física, Biologia e Sociologia. As redes complexas são analisadas utilizando a Teoria dos Grafos, a área da matemática que estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto, empregando o conceito de grafo (RUAS 2010). Desse modo, diversos aspectos do mundo real podem ser representados por redes a partir de analogias para fins específicos, como por exemplo, a caracterização e análise da malha urbana de uma cidade e verificação de seus elementos mais importantes ou centrais.

O conjunto das vias dentro do perímetro urbano de um município ao ser classificado e hierarquizado conforme um dado critério funcional é chamado de malha viária urbana. Uma malha pode ser representada matematicamente por um grafo. Utilizado para descrever a estrutura topológica de uma rede, um grafo é constituído por um conjunto de pontos, denominados nós ou vértices, conectados por linhas que expressam a relação entre eles, denominadas arestas (FREITAS 2010). No contexto deste trabalho, os cruzamentos são os vértices e os caminhos entre os cruzamentos são as arestas. Na figura 1 encontra-se a malha viária urbana da sede do município de estudo, Santarém-PA.

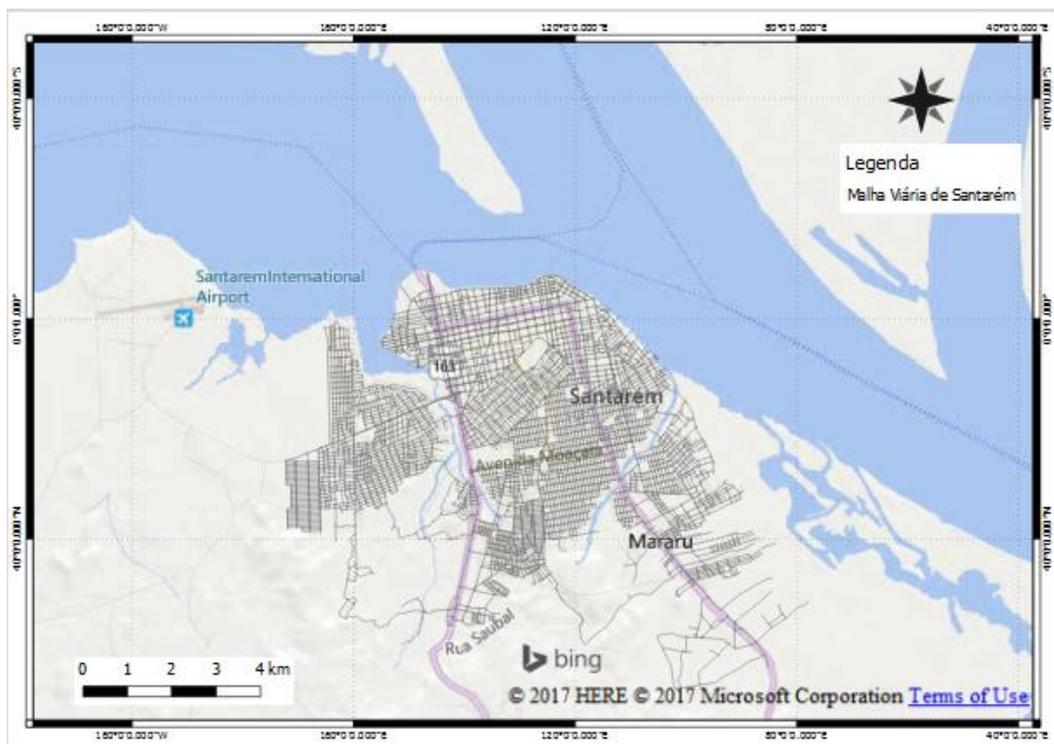


Figura 1 - Malha viária urbana da sede do município de Santarém, estado do Pará. Fonte: Autoria Própria.

Considerada uma cidade média de acordo com o IBGE, Santarém, localizada estrategicamente à margem direita do rio Tapajós, na confluência com o rio Amazonas e em uma posição intermediária entre duas capitais amazônicas, Belém e Manaus, se solidificou como entreposto comercial. Depois do processo de abertura de rodovias nas décadas de 1960 e 1970 teve seu processo de urbanização muito acelerado e seu papel de centro polarizador do Baixo Amazonas reforçado. Fato confirmado pela alocação de serviços e infraestruturas como a instalação de novas faculdades e universidades, instalação do Hospital Regional do Oeste do Pará, inauguração de conjuntos habitacionais, de clínicas médicas com serviços especializados, de grandes lojas de departamentos, aumento do número de supermercados, entre outros (OLIVEIRA 2008).

Em seu processo de expansão ficou evidente o surgimento de numerosos e populosos bairros, em geral, caracterizados por infraestrutura e serviços precários, como ruas sem pavimentação, má alocação de transporte público e ainda altos níveis de violência (SERPPA 2002). A soma desta expansão urbana não organizada, crescente uso de veículos motorizados, planejamento urbano deficiente e a dificuldade de adaptação da infraestrutura das vias a crescente demanda, têm gerado cenário de congestionamento e difícil mobilidade nas vias urbanas.

Há diferentes maneiras de avaliar a importância de determinado elemento em uma rede, conceito refletido na palavra centralidade. Dentro da Teoria dos Grafos há diversas métricas de centralidade, como a centralidade de grau, centralidade de proximidade e a centralidade de intermediação (BENÍCIO 2013). A centralidade por intermediação é a utilizada neste trabalho e está relacionada com a importância estrutural que um nó ou aresta possui dentro de uma rede, tomando como critério a proporção de caminhos mínimos entre todos os pares de nós que passam por este nó ou aresta (GUEDES 2013).

A centralidade de intermediação é indicadora de influência, de maior ou menor tráfego permitido, consequência sobre os outros, caso ocorra remoção, alteração ou interrupção do nó ou aresta (COHEN & HAVLIN 2010). Neste trabalho a centralidade por intermediação é utilizada para caracterização e análise da malha viária da sede de Santarém, para identificação da importância das vias e quais as mais importantes de acordo com todos os deslocamentos em caminhos mínimos possíveis.

2 OBJETIVO

2.1 GERAL

Utilizar a medida de centralidade por intermediação em teoria dos grafos para caracterizar e analisar a atual estrutura da malha viária urbana da sede do município de Santarém, estado do Pará.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Representar a malha viária urbana como um grafo usando a sua distribuição espacial e sentido das vias;
- b) Calcular a centralidade por intermediação para o grafo que representa a malha viária urbana do município;
- c) Caracterizar a malha viária a partir dos valores obtidos para a centralidade por intermediação;
- d) Analisar os valores de centralidade por intermediação obtidos e relacionar com informações relacionadas com a infraestrutura das vias.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 TEORIA DOS GRAFOS E MEDIDAS DE CENTRALIDADE

Um grafo é um par $G = (V, E)$ de conjuntos tal que os elementos de V são seus vértices e os elementos de E , suas arestas. Grafos podem ser representados de forma visual em que cada vértice é indicado por um ponto e cada aresta é indicada por uma linha conectando dois pontos. Por exemplo, considerando o grafo ilustrado na figura 2, $V = (1,2,3,4,5,6)$ e $E = ((1,2), (1,3), (1,6), (2,3), (3,4), (4,5), (4,6))$. Um grafo pode ser representado também na forma de lista ou matriz.

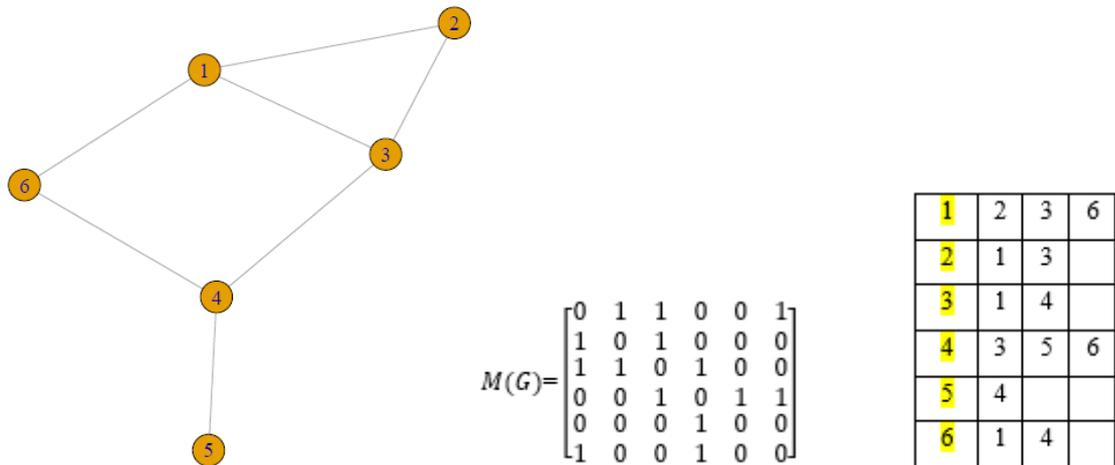


Figura 2 - Representações de um Grafo: a direita em forma de lista, centro em forma de matriz e a esquerda de forma gráfica. Fonte: autoria própria.

Um grafo pode ser classificado em dois tipos com relação a sua orientação. Quando existe na aresta uma direção indicada, identificando o vértice de origem e o vértice de chegada, o grafo é orientado, sendo assim, denominado grafo direcionado. Quando não há indicação de orientação para as arestas do grafo ele é chamado não direcionado. Figura 2.1.

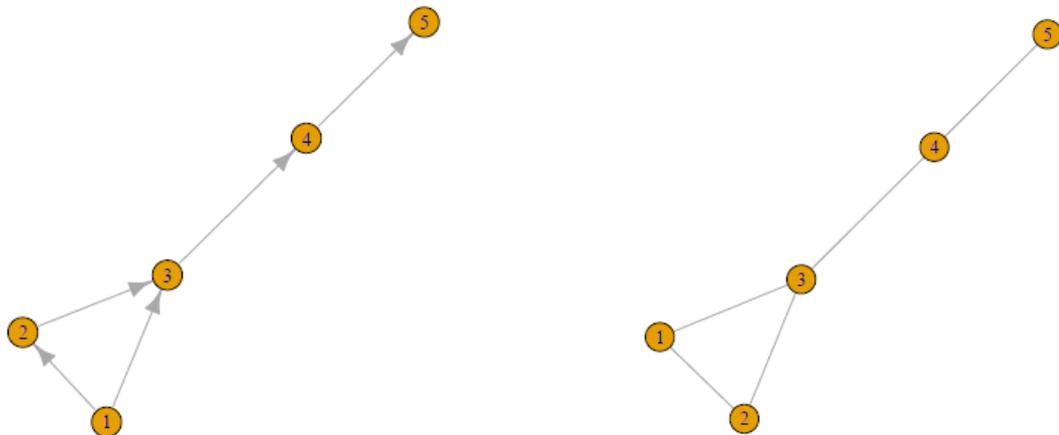


Figura 2.1 - Exemplos de grafo direcionado à esquerda e não direcionado à direita. Fonte: autoria própria.

De acordo com (BESSA et al. 2010), existem definições simples que são muito importantes para a Teoria dos grafos, como: Ao se associar um valor, normalmente um número real, a cada aresta de um grafo, ele é dito ponderado. Este valor é denominado como peso da aresta. Quando houver um caminho entre cada par de vértices o grafo é dito conexo. Caso exista pelo menos um par de vértices que não esteja conectado através de um caminho, o grafo é dito desconexo.

Um grafo $G(V, E)$ possui ordem, que é a cardinalidade de seu conjunto de vértices V e possui tamanho, dada como a cardinalidade de seu conjunto de arestas E . É possível que um grafo não possua cada vértice ligado a todos os vértices, introduzindo assim um conceito de

grau. Grau é o que define o número de arestas conectadas a um vértice (PAES 2008). Considerando o grafo da figura 2 o grau é definido como apresentado na tabela 1.

Tabela 1- Grau dos vértices do grafo da figura 2

Vértice	Grau
1	3
2	2
3	3
4	3
5	1
6	2

Fonte: autoria própria.

Grafos podem ser analisados por diversos pontos de vista e com variadas finalidades. Um dos conceitos é o de centralidade e refere-se à posição de cada vértice na estrutura e sua importância em relação a seus vizinhos (PAES 2008). Existem várias maneiras de se determinar a centralidade, cada forma reflete uma característica especial da rede e em geral estão correlacionadas (MELLO et al., 2010 apud CAUJEIRO & TABAK 2008). Há medidas de centralidade para análise de grafos desde as mais tradicionais como centralidade de grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação (GUEDES 2013), até as mais recentes como *PageRank* e centralidade autovetor.

A centralidade de intermediação atribui importância a um vértice ou aresta em função da passagem de fluxo por ele para interligar outros dois vértices ou arestas da rede, através do menor caminho possível. Quanto mais central é um vértice ou aresta, maior é o número de vértices ou arestas possíveis de se atingir com maior rapidez ou facilidade, melhor é a conexão e maior a sua influência (BESSA et al. 2010, apud ULRİK 2001). A centralidade por intermediação pode ser definida como a porcentagem de vezes que um vértice v_k necessita de um vértice v_i , cuja centralidade está sendo medida, para atingir o vértice v_j , através do menor caminho possível, sendo $k \neq i \neq j$ e $0 < j < k \leq n$, onde n é o número de vértices da rede. A centralidade de intermediação é dada pela seguinte expressão 1.

$$C_i(v_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(v_i)}{g_{jk}}, i \neq j \neq k \quad (1)$$

Onde g_{jk} é o número de caminho geodésicos que interligam o vértice j ao vértice k e $g_{jk}(v_i)$ é a quantidade destes caminhos que passam por v_i (SILVA 2010).

Ainda de acordo com (SILVA 2010), os vértices com maior centralidade por intermediação podem controlar o fluxo em uma rede e inclusive ser pontos de articulação entre

pontos isolados da rede. No grafo da figura 2.2 o vértice v_3 é evidentemente mais importante, pois ele participa 5 vezes dos menores caminhos para ligar todos os possíveis pares do grafo P.

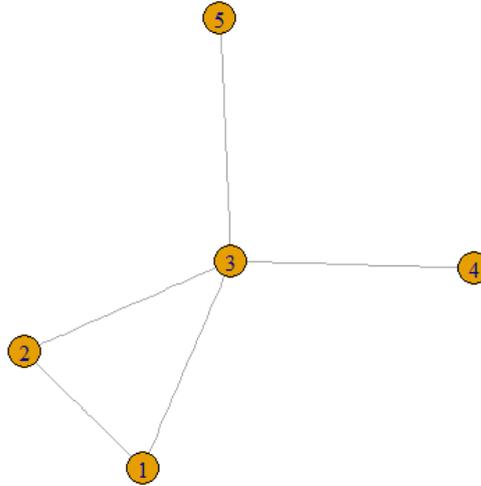


Figura 2.2- Grafo P. Fonte: Autoria própria.

Tabela 2- Caminhos geodésicos do grafo P.

De	Para	Menor caminho	1	2	3	4	5
1	2	(1,2)	0	0	0	0	0
1	3	(1,3)	0	0	0	0	0
1	4	(1,3,4)	0	0	.1	0	0
1	5	(1,3,5)	0	0	1	0	0
2	3	(2,3)	0	0	0	0	0
2	4	(2,3,4)	0	0	1	0	0
2	5	(2,3,5)	0	0	1	0	0
3	4	(3,4)	0	0	0	0	0
3	5	(3,5)	0	0	0	0	0
4	5	(4,3,5)	0	0	1	0	0

Fonte: autoria própria.

3.2 ANÁLISE DE MALHA VIÁRIA URBANA E CENTRALIDADE POR INTERMEDIÇÃO

Diversos pesquisadores acreditam que a configuração urbana condiciona os sistemas de transporte nelas existentes, além de interferir no processo de deslocamento dos indivíduos. É evidente que existem outros fatores, uma vez que a dinâmica das cidades incorpora uma série de ir e vir no espaço (BARROS et al. 2013), no entanto a configuração do espaço não é um elemento passivo, é uma variável independente que pode se converter em um atributo para a interpretação da mobilidade urbana, uma vez que afeta a vida social nele existente.

Para a análise de fluxo de tráfego em redes de malhas urbanas, (KAZERANI & WINTER 2009) afirmam que as centralidades por intermediação tradicionais sozinhas não são apropriadas de se utilizar, pois concentram-se somente em propriedades estruturais, em formulações estáticas de centralidade e as redes de vias possuem propriedades dinâmicas que não podem ser negligenciadas como: ruas físicas podem ter restrições temporais significativas como fechamentos noturnos, alocação de faixas dinâmicas ou volume de tráfego atual, além de taxas de mudanças lentas na própria rede.

Pode ser estudada com auxílio da centralidade por intermediação, porém, não sozinha, a suposição de que agentes racionais viajem pelos caminhos mais curtos e que consequentemente, as vias em muitos caminhos mais curtos na malha urbana possam atrair mais tráfego, podendo assim, haver mais acidentes de trânsito, e com a maior movimentação de pessoas poder haver mais atividades criminosas ou o contrário, em locais menos centrais haver mais crimes e menos acidentes de trânsito. Entretanto, há a necessidade de informações adicionais como dados de pesquisa origem e destino, trafegabilidade das vias, condições socioeconômicas, entre outras.

Com o estudo da centralidade por intermediação, neste trabalho, é apenas verificado quais são as vias mais importantes para deslocamento dentro de todos os deslocamentos possíveis na rede baseando-se nos caminhos mais curtos. Com essa análise é possível, identificar, por exemplo, vias que deveriam ser priorizadas para asfaltamento.

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho compreende 2 etapas principais. A primeira etapa corresponde ao uso de técnicas de geoprocessamento mediante o uso de um sistema de informações geográficas (SIG) para obter a malha, a representar através de um grafo e fazer edições. A segunda etapa corresponde ao uso do ambiente de computação estatística R, para cálculo da centralidade por intermediação. Figura 3.

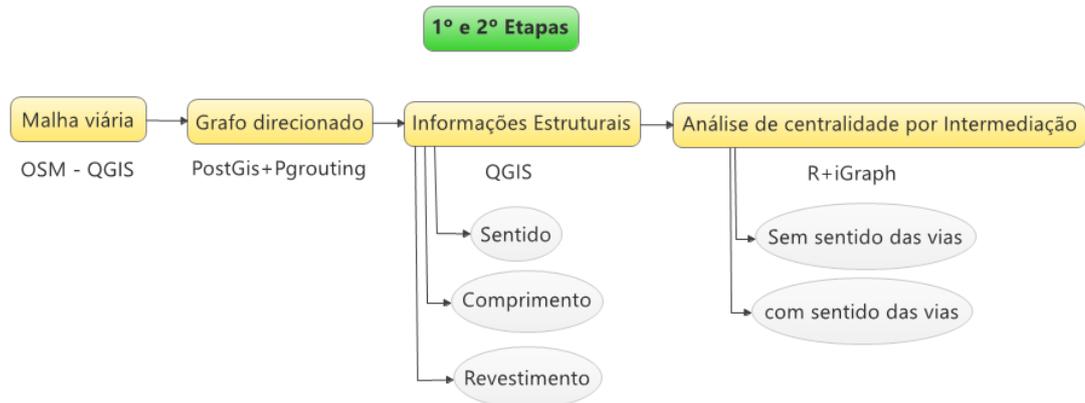


Figura 3 - Esquema das 1º e 2º etapas da metodologia do trabalho. Fonte: Autoria própria.

4.1 SOFTWARES UTILIZADOS

Os dados geográficos utilizados nesta pesquisa, que incluem a malha viária urbana, foram adquiridos gratuitamente pela internet por meio do sítio do projeto OpenStreetMap (<http://www.openstreetmaps.org>). Os dados foram adicionados a um projeto no software Sistema de Informações Geográficas Quantum GIS (QGIS), um software livre e gratuito. Em seguida passados a outro programa do SIG, o PostgreSQL, um sistema de gerenciamento de dados de código livre, que através do PostGIS, extensão que permite leitura de arquivos em GIS e o Pgrouing, ferramenta do postgis que proporciona ao usuário condições de trabalhar com algoritmos de roteirização, armazenou os dados que foram editados no QGIS. Esquema simplificado na figura 4.



Figura 4 - Esquema Simplificado da 1ª Etapa da metodologia. Fonte: Autoria própria

A segunda etapa corresponde a utilização da linguagem R, através do software R para cálculo da centralidade de intermediação (esquema simplificado na figura 4.1). O R é um ambiente moderno, de domínio público que também possui código livre. Quando instalado, é possível a obtenção de vários pacotes, entre eles o pacote `igraph`. O R `igraph` é uma biblioteca que tem como principais funções facilitar o acesso a implementação de algoritmos gráficos, promover a manipulação rápida de grandes grafos, cálculo de métricas, plotagem de redes, entre outras.

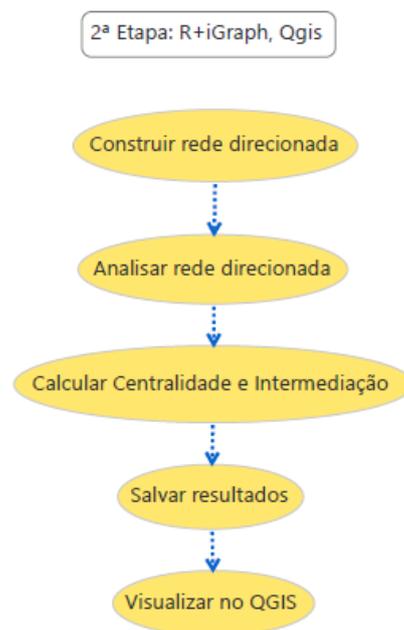


Figura 4.1 - Esquema Simplificado da 2ª Etapa da metodologia.

4.2 1º ETAPA: USO DO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de informações geográficas e os Sistemas de Informações Geográficas – SIG, são um sistema que permite capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar informações espaciais sobre os elementos que compõem a superfície terrestre, geograficamente referenciados aplicando-se a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem (CÂMARA & Davis 2001).

4.2.1 Representação da malha viária urbana por um grafo

Através do complemento Openlayers do QGIS, foi escolhida a opção “adicionar uma camada do OpenStreetmaps”, para enquadrar a camada da área de Santarém na tela (Figura

4.2), em seguida o arquivo foi baixado através do complemento “Vetor > OpenStreetmap > Download data” e guardado em extensão OSM.

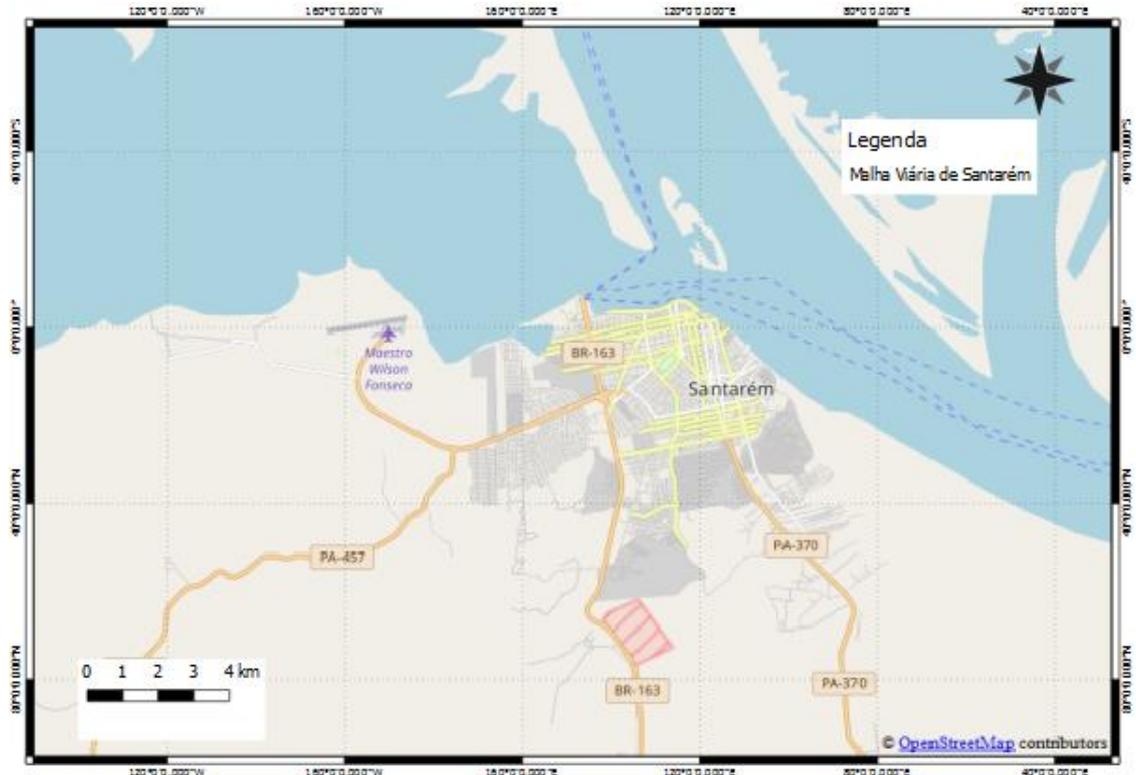


Figura 4.2 - Malha viária da sede de Santarém da camada OpenStreetMap. Fonte: Autoria Própria.

Para converter a estrutura de dados da extensão OSM, para pgrouting, foi preciso criar um banco de dados no postgresql, o sistema de banco de dados objeto relacional utilizado nesse trabalho para armazenar dados adquiridos do openstreetmaps e converter através das extensões, em arquivos GIS, para posteriormente serem editados no QGIS e adicionar duas extensões, sendo postgis e pgrouting. As extensões ajudaram a converter o arquivo para os formatos necessários.

O passo seguinte foi criar um diretório com o arquivo mapconfig.xml e utilizando o prompt de comando gerar o arquivo XML. O comando utilizado foi o “osm2pgrouting -f map.osm -c mapconfig.xml -h localhost -p 5432 -d banco_de_dados -U postgres -W senha”. Ao utilizar esse comando, automaticamente é gerado o arquivo XML e criadas as camadas do pgRouting. Em seguida as camadas, com os atributos das arestas e dos vértices, foram adicionadas ao QGIS no intuito de convertê-las em Shapefile. Esse formato permite que sejam trabalhados os dados geoespaciais em forma de vetores, usando o SIG como referência. Os projetos iniciados no QGIS apresentam o formato universal no início, no caso o datum WGS84, por este motivo, foi necessário mudar o SRC para o formato UTM - SIRGAS 2000 – zona 21S,

que é referente a localização da região em que se encontra o município de Santarém-PA, de acordo com o IBGE.

Utilizando os arquivos convertidos em Shapefile, foi preciso fazer um tratamento de dados, no QGIS, na propriedade descrita como tabela de atributos, na qual obteve-se da camada arestas os valores descritos como source (vértices de origem), target (vértices de destino), oneway (sentido das vias) e cobertura (condições de pavimentação das vias). Nesse trabalho, por se tratar de uma análise de malha viária do Município de Santarém, é necessária atenção especial ao sentido das vias e a pavimentação. O oneway mostra os sentidos apresentando dois indicativos, por exemplo, se mostrar na tabela o número 1 quer dizer sentido único, no entanto, se detectar o número 0 quer dizer sentido duplo. O atributo cobertura classifica as vias como: material asfáltico (asfaltadas); material laterítico (aquelas com piçarra, barro arenoso); e leito natural (constituídas somente com material do seu próprio leito natural). Seguindo esse princípio a tabela foi editada, ajustando sentido de vias e pavimentação que haviam sido alterados recentemente, pois os dados coletados possuem uma atualização um tanto lenta.

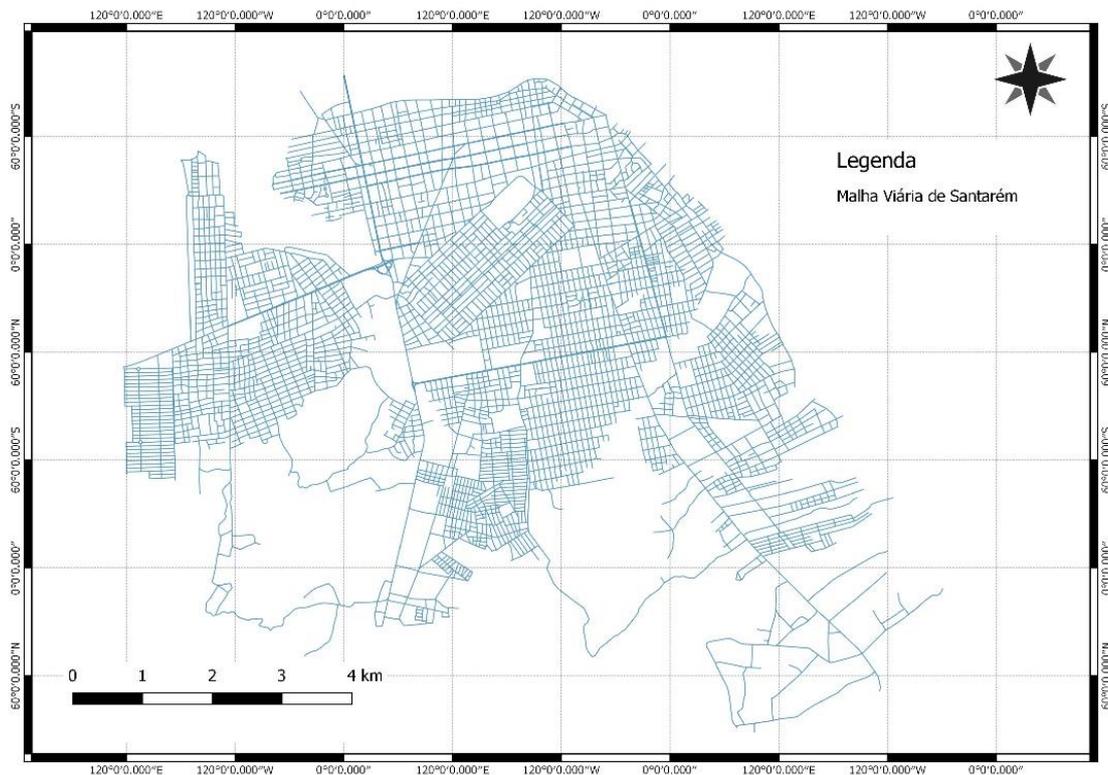


Figura 4.3 - Mapa da malha viária urbana da sede de Santarém após tratamento. Fonte: autoria própria.

4.3 2º ETAPA: CÁLCULO DA CENTRALIDADE DE INTERMEDIACÃO

Seguindo à 2º etapa, para serem encontrados os caminhos mais importantes em relação a centralidade de intermediação foi utilizado o pacote *igraph* do programa R e a ferramenta *Betweenness* (termo em inglês para intermediação). Para calcular a esta centralidade para cada via, o número de caminhos mais curtos que passam pela via tem que ser contabilizado e para o cálculo de caminho mínimo a ferramenta utiliza o algoritmo de Dijkstra. Esquema na figura 4.4.

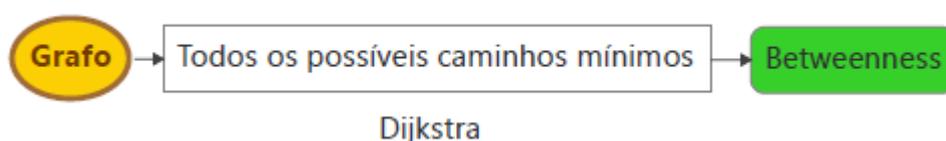


Figura 4.4 – Esquema simplificado do cálculo da centralidade por Intermediação (Betweenness). Fonte: Autoria Própria.

O algoritmo de Dijkstra é utilizado para encontrar os menores caminhos entre vértices ou arestas quaisquer do grafo. Proposto em 1959 pelo cientista da computação holandês Edsger Dijkstra, considera um grafo G , de n vértices, e m arestas. Além disto, são fornecidos dois vértices distintos e com algum caminho entre, u e v que são a origem e o destino (Patrícia 2007). Os vértices são divididos da seguinte maneira: os que já foram visitados (conjunto C), os que são candidatos (conjunto F) e os que nunca foram visitados (conjunto D). A seguir o resumo dos passos do algoritmo.

- O conjunto C é inicializado contendo apenas o vértice de origem. Os vértices vizinhos imediatos do vértice de origem são inseridos no conjunto F, sendo registrados os custos para alcançar cada um a partir do vértice de origem, e os demais inicialmente pertencem ao conjunto D.
- A cada iteração, os vértices do conjunto F são verificados para determinar qual a melhor opção, qual caminho possui menor peso e então será transferido para C o vértice cujo custo acumulado seja o menor dentre os candidatos. Neste momento seus vizinhos são transferidos do conjunto D para o conjunto F.
- As iterações param quando o vértice de destino for alcançado ou quando não houver mais vértices a percorrer.
- Quando os caminhos simulados são isonômicos, o peso de todos os vértices é o mesmo. Já quando for considerada a condição de pavimentação das vias, pesos diferentes são atribuídos para as arestas, representando o custo de tráfego.

Após os caminhos mínimos serem calculados, a centralidade de intermediação é calculada pela ferramenta.

Duas análises foram feitas: uma partindo dos valores de intermediação obtidos entre todos os possíveis pares de vértices da malha desprezando e levando em conta os sentidos das vias, e outra análise comparando a intermediação com revestimento das vias para identificar quais as ruas importantes para o deslocamento e não estão asfaltadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa da figuras 5 apresenta um resultado da etapa de edição dos dados do grafo da malha viária urbana sede de Santarém. O mapa apresenta a cobertura do solo das vias. Classificadas em: vias de material asfáltico, vias de material laterítico e vias de leito natural. As informações representadas neste mapa são de suma importancia quando se trata de deslocamento urbano em um município pois influenciam a decisão de qual caminho utilizar.

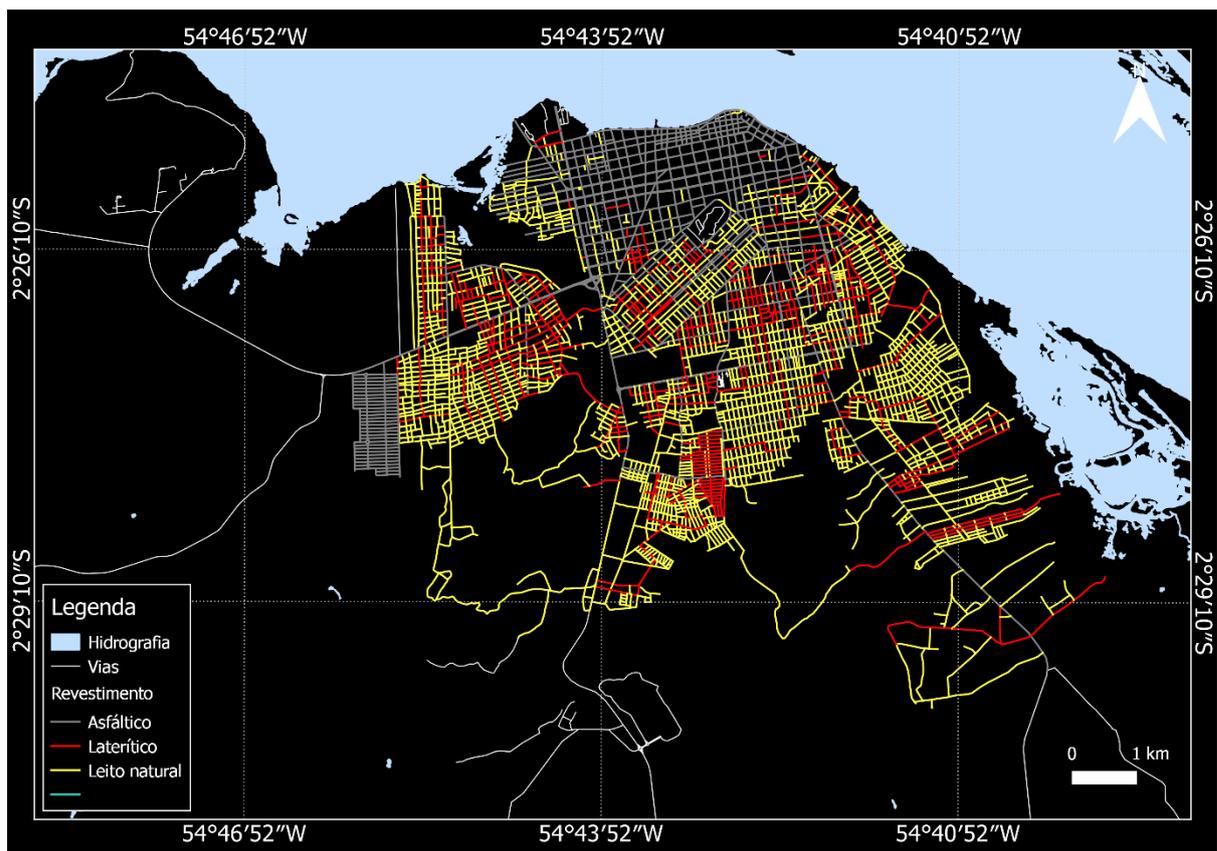


Figura 5 – Mapa da cobertura das vias da malha viária urbana da sede de Santarém-PA. Fonte: Autoria Própria.

Os dados editados no GQIS, que tornaram possível a elaboração do mapa 5 foram utilizados para o cálculo da centralidade por intermediação da rede. Primeiro a centralidade foi calculada sem levar em consideração os sentidos das vias, ou seja, utilizando a rede não direcionada, utilizando como peso somente distância e o mapa 5.1 foi obtido. A análise da

centralidade por intermediação da rede não direcionada indica presença de baixos valores de centralidade, representados pelas cores de tom frio azul até altos valores de centralidade representados pelas cores de tom quente, chegando aos valores de máxima centralidade em vermelho. É possível verificar que mesmo ao se considerar somente o desenho da malha, vias de maior centralidade coincidem com vias de maior tráfego no dia a dia. Como o caso da Avenida Cuiabá, Avenida Engenheiro Fernando Guilhon e Avenida Curuá-una. Outro fato interessante é a alta centralidade das outras 3 vias que ligam a grande área do Santarenzinho com o restante da cidade e que no entanto, ao comparar com o mapa 5, apresentam leito natural, deixando evidente que seus potenciais como vias importantes para o deslocamento na malha ainda não são explorados.

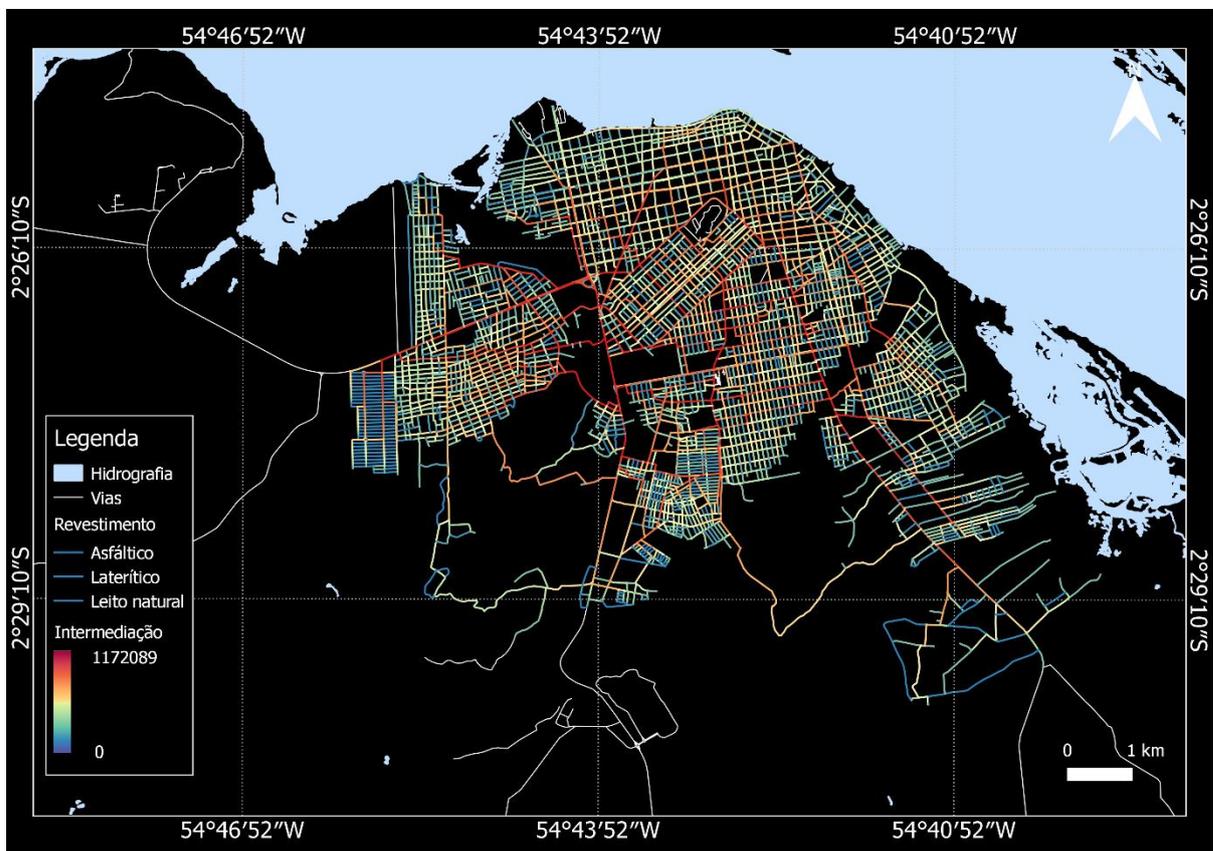


Figura 5.1 - Mapa da Centralidade Por Intermediação da malha viária urbana da sede de Santarém-PA, sem considerar sentido de via. Fonte: Autoria Própria.

Em seguida os sentidos foram contabilizados e elaborado o mapa 5.3, de centralidade por intermediação da rede direcionada.

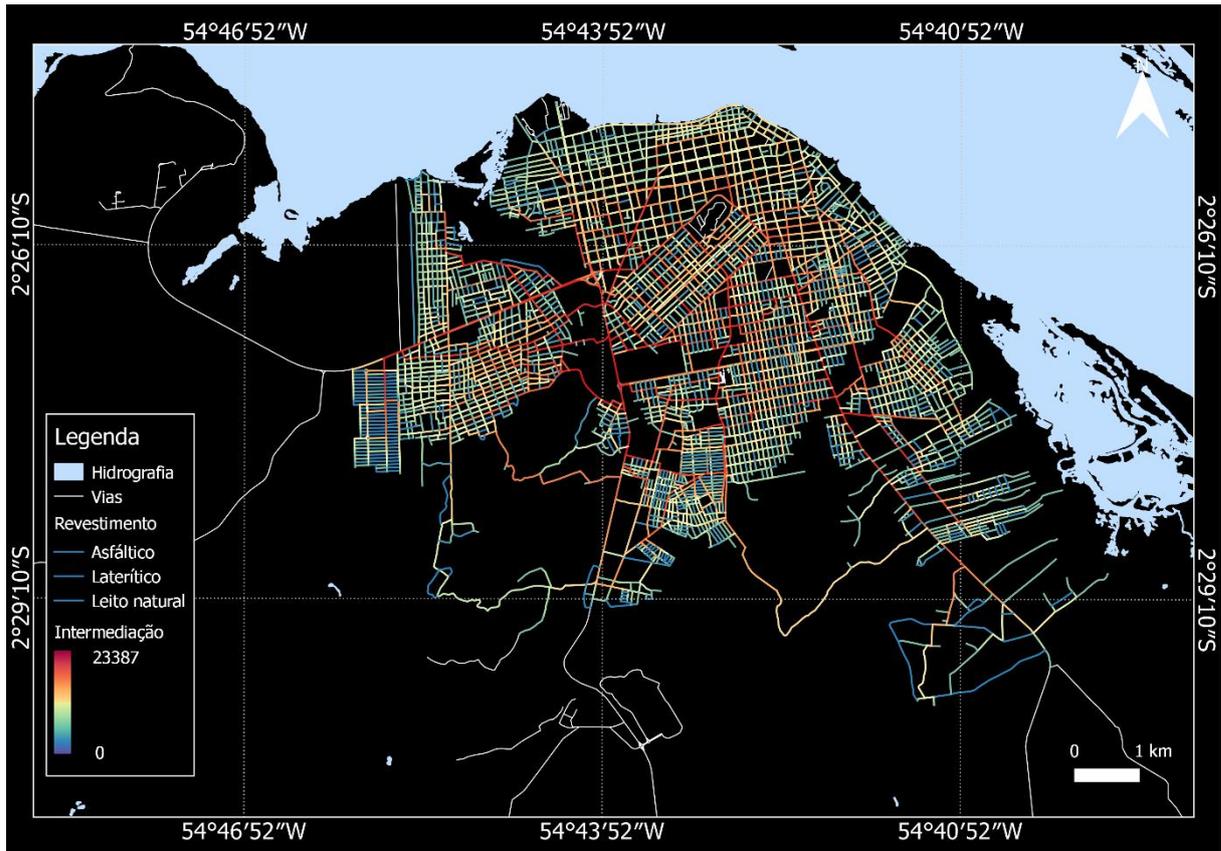


Figura 5.2 - Mapa da Centralidade Por Intermediação da malha viária urbana de Santarém-PA, considerando sentido de via.
Fonte: Autoria Própria.

Nota-se que quando o sentido das vias é considerado, o valor máximo de centralidade é menor, comparado ao da rede não direcionada. A importância das vias é mostrada pela variação de tons. Tons quentes significam vias mais centrais e tons frios vias menos centrais.

O alto número de trechos com centralidade alta na malha da rede direcionada e semelhança com a rede não direcionada pode ser relacionado ao fato de a maior parte das vias apresentarem duplo sentido, permitindo maior número de deslocamentos possíveis.

Visualmente a distribuição das centralidades da rede direcionada e não direcionada são muito semelhantes e para melhor compreensão dos resultados, foram examinadas quantitativamente as propriedades estatísticas das centralidades das redes, com a utilização de histogramas e suas respectivas distribuições cumulativas. Ao observar os gráficos da figura 5.3 é notória a semelhança da distribuição das centralidades. Uma das diferenças entre as distribuições das centralidades das redes é a frequência em que são encontradas. Vias com baixa e média intermediação são mais frequentes no grafo não direcionado. Já as vias de média-alta e alta intermediação apresentam frequência significativamente semelhantes. Mais especificamente e com a observação dos gráficos da figura 5.4 aproximadamente 20% das vias

possuem intermediação baixa, mais de 70% das vias apresentam intermediação média e menos de 10% tem alto valor de centralidade por intermediação no grafo direcionado.

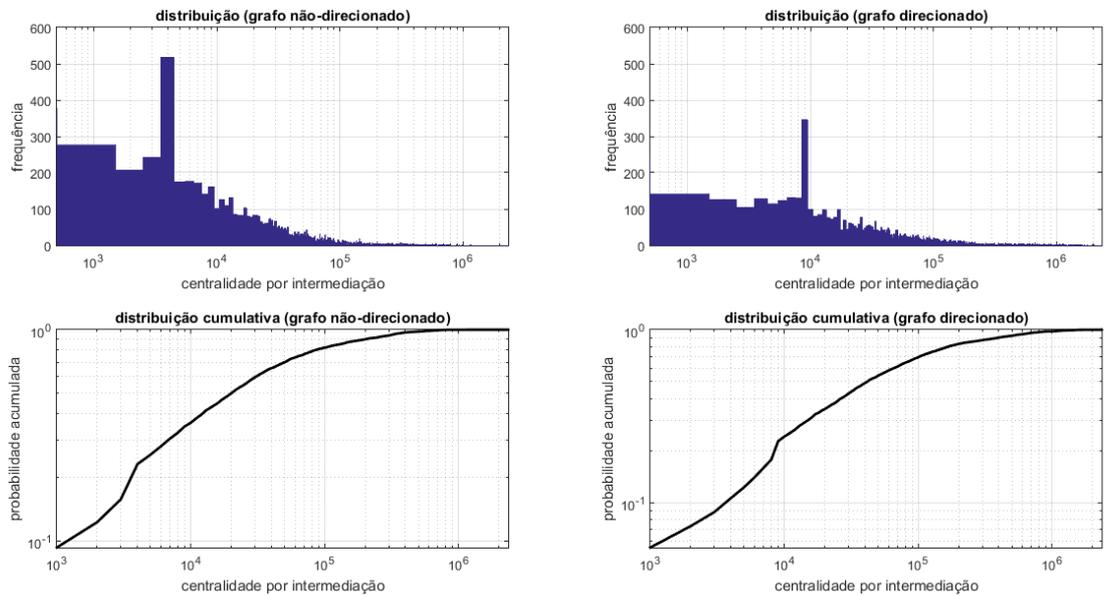


Figura 5.3 - Histograma da centralidade de intermediação da rede direcionada e não direcionada e distribuições cumulativas. Fonte: Autoria própria.

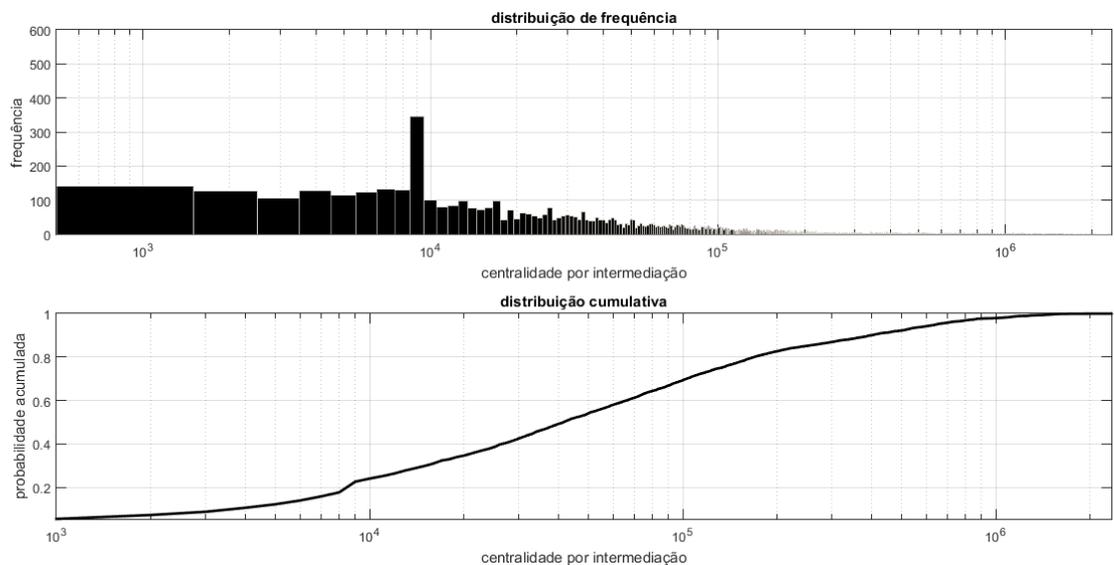


Figura 5.4 - Histograma da centralidade por intermediação do grafo direcionado. Fonte: Autoria própria.

De acordo os mapas 5.1 e 5.2 todos as grandes áreas de Santarém possuem alguma via com alto valor de centralidade por intermediação, ou seja, são muito importantes perante todos os deslocamentos possíveis dentro da malha do município, porém, se comparados com o mapa da figura 5.1, nem todas estas vias importantes possuem cobertura adequada para deslocamento de pedestres, ciclistas ou por veículos motorizados. A centralidade por intermediação da malha não direcionada pode indicar a importância de cada trecho de via para deslocamentos a pé ou

de bicicleta, tendo em vista que esses dois deslocamentos ocorrem sem levar em consideração os sentidos das vias. Enquanto a medida de centralidade por intermediação da malha direcionada indica a importância de cada trecho de via para deslocamentos por veículos motorizados, uma vez que tem que seguir obrigatoriamente os sentidos das vias.

A cidade apresenta mais vias com média importância, poucas vias com muita importância, e as com mais baixa centralidade, em sua maioria, se encontram nas áreas mais periféricas. Muitas dessas vias importantes não possuem cobertura adequada para o deslocamento, o que leva as vias mais centrais e com melhor pavimentação serem provavelmente as escolhidas para o deslocamento urbano, podendo assim, haver engarrafamentos em horários de pico de deslocamento, aumento da possibilidade de acidentes de trânsito e desgaste mais rápido do revestimento dessas vias.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objetivo principal deste trabalho era utilizar a medida de centralidade por intermediação em teoria dos grafos para caracterizar e analisar a atual estrutura da malha viária do município de Santarém, estado do Pará. Este objetivo foi atingido com êxito.

A medida de centralidade por intermediação, indicadora de influência, de maior ou menor tráfego permitido, que afirma que quanto mais central é um vértice, maior é o número de vértices possíveis de se atingir com maior rapidez ou facilidade, apresentou resultados úteis, condizentes com a realidade e possíveis de ser fonte de subsídio para pesquisas futuras e inclusive tomadas de atitude por parte dos governantes para melhoria das vias e deslocamentos no município.

Existem diversos fatores que influenciam a escolha de um caminho e a dinâmica de uma cidade. Como trabalho futuro, um estudo mais elaborado será realizado, que considere fluxo das pessoas através de simulações de rotas de origem e destino considerando a menor distância. Os resultados poderão então ser utilizados como um instrumento auxiliar ao desenvolvimento de programas, mecanismos e implementação de políticas públicas de trânsito.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARROS, Ana Paula et al. **Impacto do Desenho da malha Viária na Mobilidade Urbana**. 2013. Paranoá n.9 Mobilidade, Cidade e Território. Disponível em <periódicos.unb.br/index.php/paranoa/article.le/viewFile/12290/8576>
- [2] BENICIO, Marily Aparecida. **Centralidade da caminhada aleatória em redes complexas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa.
- [3] BESSA, Aline D. et al. **Introdução às redes complexas**. 2010. Universidade Federal da Bahia. Bahia
- [4] BORBA, Elizandro Max. **Medidas de centralidade em grafos e Aplicações em redes de dados**. 2013. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [5] COHEN, Reuven; HAVLIN, Shmolo. **Complex Networks: structure, robustness, and functions**. Virtual book, 2010. Universidade de Cambridge. Nova York. Disponível em <<http://ebooks.cambridge.org/ebook.jsf?bid=CBO9780511780356>>
- [6] FREITAS, Leandro Quintanilha. **Medidas de centralidade em grafos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- [7] GUEDES, Diego Américo. **Classificação dinâmica de nós em redes em malha sem fio**. 2013. Dissertação (Mestrado em Computação) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia.
- [8] CAMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. **Introdução: Por que Geoprocessamento?** 2001. INPE 8562. São José dos Campos. Disponível em <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.13.48/doc/cap1-introducao.pdf>>
- [9] KAZERANI, Aisan; WINTER, Stephan. **Can betweenness centrality explain traffic flow?** 2009. Anais 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Alemanha. Disponível em <http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2009-hannover/pdfs/111.pdf>
- [10] MELLO, Bernardo A. et al. **Teoria de redes complexas e o poder de difusão dos municípios**. 2010. Texto para discussão. IPEA. No 1484. Brasília.
- [11] NEVES, Patrícia Takaki. **Variações e aplicações do Algoritmo de Dijkstra**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- [12] OLIVEIRA, Janete Marília Gentil Coimbra de. **Expansão Urbana e periferação de Santarém-Pa**, Brasil: Questões para o planejamento urbano. In: X COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 10. 2008, Barcelona.
- [13] PAES, Claudia Abreu. **Caracterização Topológica de redes complexas geradas no processo de mineração de documentos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

- [14] RUAS, Terry Lima. **Mineração de dados em Redes Complexas: Um Estudo sobre a Dinâmica do conteúdo Social**. 2010. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Centro de Matemática, Computação e Cognição, Universidade Federal do ABC, Santo André.
- [15] SERPA, Angelo. **A paisagem periférica**. In: Yasigi, Eduard0 (Org.). Turismo e Paisagem. São Paulo: Editora Contexto, 2002, p. 162-179.
- [16] SILVA, Thiago Santos A. **Um estudo de medidas de centralidade e confiabilidade em redes**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow. Rio de Janeiro.