



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

MAILLA MILLA SOUSA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA ESTRUTURA DA MALHA VIÁRIA DO MUNICÍPIO DE
SANTARÉM**

SANTARÉM

2019

MAILLA MILLA SOUSA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA ESTRUTURA DA MALHA VIÁRIA DO MUNICÍPIO DE
SANTARÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia para obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências.

Orientador: Rodolfo Maduro Almeida

SANTARÉM

2019



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA - PROPPIT
DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO PIBIC

1. IDENTIFICAÇÃO

Bolsista: Mailla Milla Sousa dos Santos

E-mail: maillamilla@gmail.com

Telefone: (93) 992186458

Título do Plano de Trabalho: ANÁLISE DA ESTRUTURA DA MALHA VIÁRIA DO MUNICÍPIO DE SANTARÉM.

Título do Projeto ao qual está vinculado o plano de trabalho: GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ESTUDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE SANTARÉM, ESTADO DO PARÁ, BRASIL.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Maduro Almeida

E-mail do orientador: amazonida@gmail.com

Telefone: (93) 9102-1789

Instituto: Instituto de Engenharia e Geociências – IEG

Bolsa: () PIBIC/UFOPA (X) PIBIC/FAPESPA () PIBIC/CNPq

Vigência da bolsa: Junho/2016 à junho/2017

Relatório parcial ()

Relatório final (X)

Período do relatório: /2016 à /2017

2. INTRODUÇÃO

A malha viária urbana é o conjunto de vias contidas dentro do perímetro urbano de um município, classificadas e hierarquizadas conforme um dado critério funcional. O deslocamento das pessoas em áreas urbanas têm sido um tema atual de pesquisa no campo disciplinar dos transportes. A rápida expansão das áreas urbanas e o crescente uso de veículos motorizados, somados a um planejamento urbano deficiente e à dificuldade de adaptação da infraestrutura das vias a esta crescente demanda, têm gerado cenário de congestionamento e difícil mobilidade nas vias urbanas. Como alternativa a esta situação, a Política Nacional de Mobilidade Urbana do Governo Federal, determinada pela Lei 12.587/12, estabelece os princípios, as diretrizes e os instrumentos para orientar os municípios a planejar o sistema de transporte e de infraestrutura viária. Pela Lei, cada município deve elaborar o seu plano de mobilidade, visando atender a

demanda de mobilidade da população e de transporte de cargas, e contribuir para o desenvolvimento urbano sustentável, tendo como prioridade o incentivo ao uso de transporte coletivo e público, ao invés do individual e particular.

Muitas vezes, os municípios carecem de estudos que visem avaliar as condições de trafegabilidade das vias urbanas e propor melhorias, mediante adaptações no sentido do fluxo e na infraestrutura das vias. É nesta linha que se propõe este trabalho, que visa utilizar a modelagem matemática e a teoria dos grafos para avaliar a estrutura atual da malha viária do município de Santarém, estado do Pará, e dar subsídios a adaptações e melhorias em sua infraestrutura.

O município de Santarém é o terceiro mais populoso do estado do Pará, e o principal centro urbano, financeiro, comercial e cultural da região oeste do estado do Pará. É sede da Região Metropolitana de Santarém, o segundo maior aglomerado urbano do Pará. Pertence a mesorregião do Baixo Amazonas e a microrregião de mesmo nome. Situa-se na confluência dos rios Tapajós e Amazonas. A Figura 1 apresenta a malha viária urbana do município de Santarém.

O atual cenário de desenvolvimento econômico da cidade de Santarém, impulsionado pela construção de empreendimentos sociais e econômicos, além das recentes facilidades de crédito para financiamento, tem causado uma rápida e ocupação expansão da área urbana, e uma crescente opção pelo uso de veículos automotores particulares. O aumento no uso dos veículos automotores, somado às condições precárias de grande parte das vias da malha urbana, tem criado um cenário de congestionamento nas principais vias, que dispõe de infraestrutura apropriada para garantir o tráfego. Neste sentido, a motivação deste trabalho está em usar a teoria dos grafos e a simulação computacional para a avaliação da estrutura da malha viária urbana de Santarém, e propor ajustes e melhorias na sua configuração, visando melhorar a trafegabilidade. A teoria dos grafos é uma área da matemática que estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto, empregando o conceito de grafo. Um grafo, denotado por $G(V,E)$, onde V é um conjunto não vazio de objetos denominados vértices, e E é um conjunto de pares de V , denominados arestas. Muitos problemas do mundo real possuem objetos que podem ser representados por grafos.

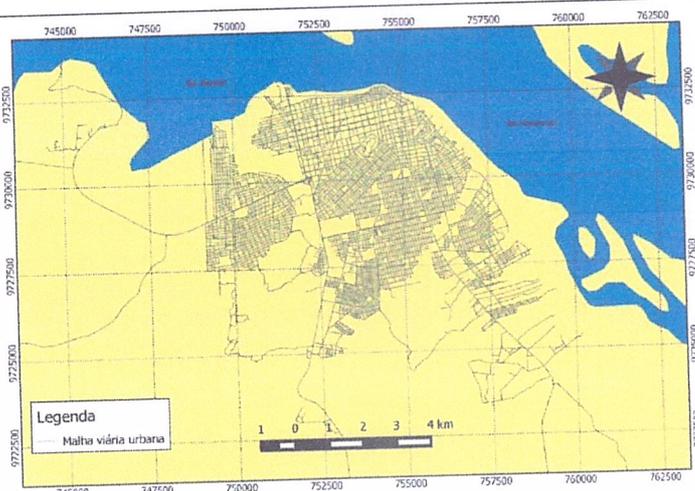


Figura 1: Malha viária urbana do município de Santarém.

No contexto deste trabalho, o conceito de grafo é utilizado para representar a malha viária. Os cruzamentos são os vértices e os caminhos entre os cruzamentos são as arestas. O grafo é orientado, pois o conjunto E , de pares de V , são ordenados, definindo assim um sentido de um vértice a outro, representando o sentido do fluxo viário. Com o intuito de imitar o transito de veículos ao longo do grafo, um conjunto de caminhos serão gerados, conforme um comportamento prescrito. Um caminho corresponde uma sequência de arestas interligadas, sendo que o primeiro vértice e o último vértice são, respectivamente, o ponto de partida e o ponto de chegada do caminho. Conforme o comportamento prescrito para as simulações, o ponto de partida dos caminhos serão os vértices dos bairros periféricos, e o ponto de chegada serão os vértices dos bairros centrais da cidade. A Figura 2 ilustra os bairros de Santarém e destaca quais são os bairros centrais e periféricos.

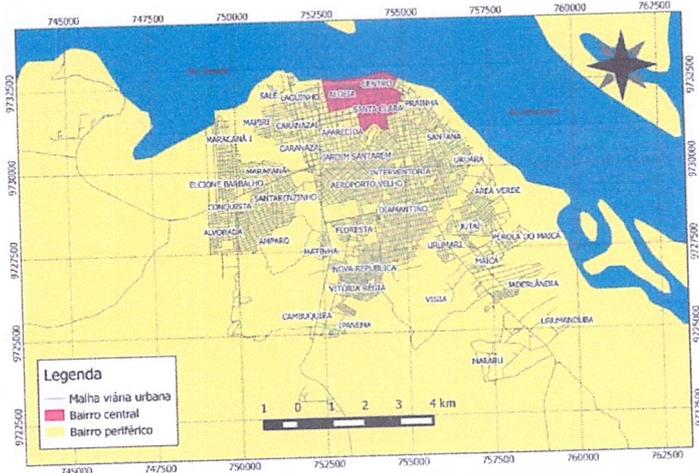


Figura 2: Localização dos bairros periféricos e centrais ao longo da área de abrangência da malha viária urbana do município de Santarém.

Um total de N caminhos simulados serão simulados. Em seguida, serão contabilizadas quantas vezes cada vértice foi visitado pelos caminhos simulados. Esta contagem fornece uma

ideia do potencial deste vértice (cruzamento) na definição dos caminhos sentido periferia – centro, ou seja, de quanto congestionado será. O processo de simulação computacional dos caminhos seguirá dois modos gerais. Na primeira, é assumida a isonomia, e os caminhos serão traçados independentemente das condições de tráfego das vias. Neste primeiro modo, somente a estrutura topológica (configuração espacial) da malha viária será caracterizada e avaliada por meio das simulações. No segundo modo, as condições de pavimentação serão consideradas na definição dos caminhos. Desta forma, vias com melhor infraestrutura (asfaltadas) serão priorizadas, ante as vias não asfaltadas. Neste segundo modo, as condições de infraestrutura física das vias serão avaliadas por meio das simulações. O resultado, exibindo a quantidade de vezes que cada vértice foi visitado, servirá de subsídio para a definição de melhorias na configuração espacial e na infraestrutura da malha viária.

3. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Utilizar teoria dos grafos e simulação computacional para avaliar a estrutura da malha viária do município de Santarém e propor subsídios para a sua melhoria.

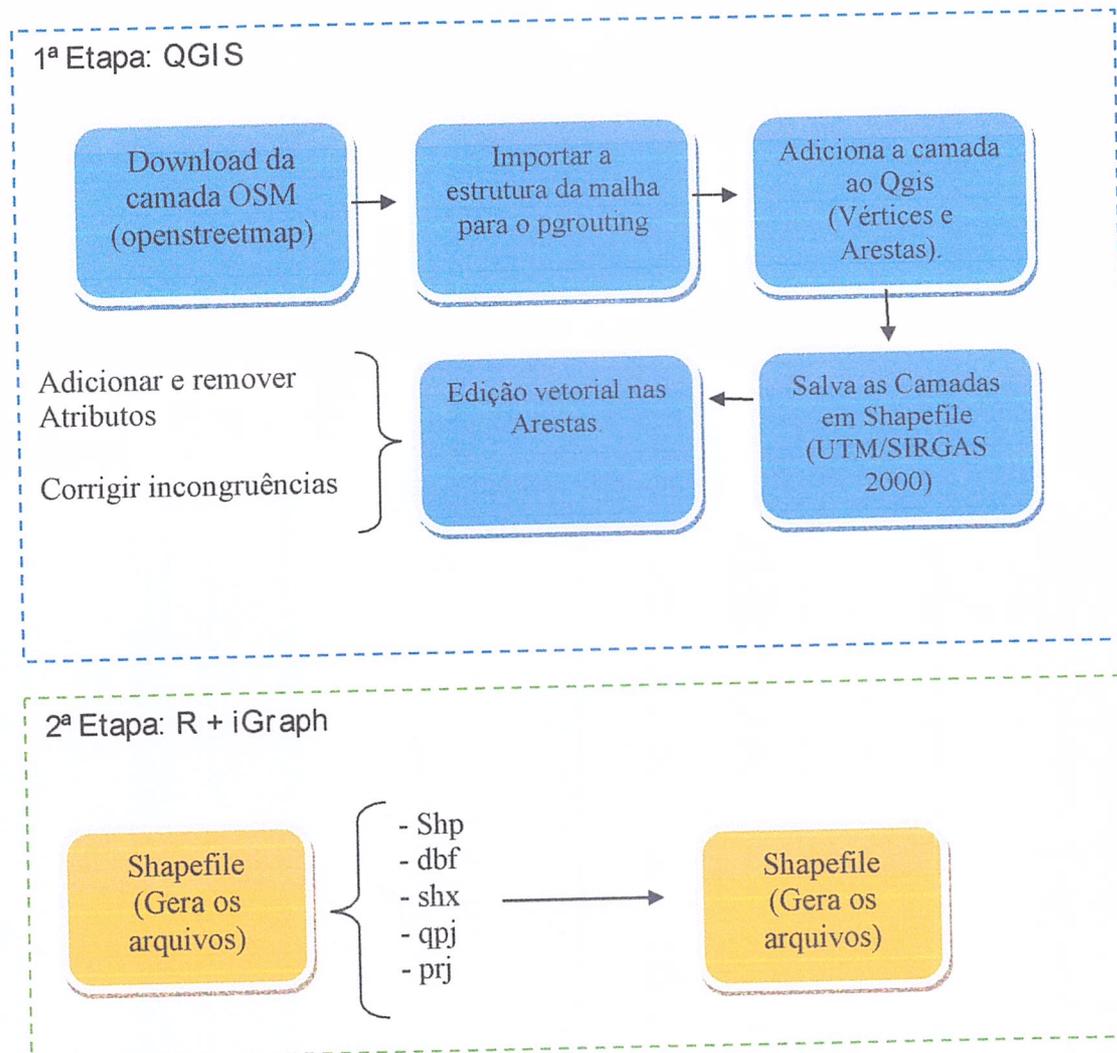
Objetivos específicos:

- Criar um banco de dados geográficos contendo a estrutura da malha viária do município de Santarém e localização dos bairros.
- Codificar a malha urbana em um grafo que contenha em seus vértices e arestas atributos contendo informações dos bairros, do sentido dos fluxos e das condições de pavimentação das vias.
- Utilizar um sistema de computação numérica para realização da simulação computacional dos caminhos, levando em consideração: (1) isonomia nas vias; e (2) condições de pavimentação.
- Contabilizar a quantidade de vezes que cada vértice foi visitado para que seja possível obter uma medida do congestionamento do vértice para cada simulação.
- Analisar os resultados obtidos e propor adaptações na infraestrutura e no fluxo das vias.

4. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado seguindo a metodologia proposta no plano de trabalho, que foi dividida em duas etapas, na qual a primeira etapa correspondeu ao uso de técnicas de geoprocessamento mediante o uso de um sistema de informações geográficas (SIG). A segunda

etapa correspondeu ao uso de um algoritmo computacional para simulação de caminhos implementado em uma linguagem de programação de um sistema de computação numérica. Abaixo as etapas do trabalho estão representadas através de um fluxograma, para melhor entendimento:



O R foi escolhido por conta de inúmeras funcionalidades adicionais permitidas pelo uso de bibliotecas desenvolvidas ou integradas ao seu ambiente. No nosso caso, usaremos a biblioteca “R-igraph” que permite a integração das funcionalidades da biblioteca iGraph, originariamente escrita em linguagem, ao Ambiente do R.

4.1 Softwares utilizados

Foram utilizados os software relacionados a área de geoprocessamento, que empregam o sistema de informação geográfica (SIG), como princípio para modelação de problemas, análise e simulação de cenários. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas

computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre/sob a superfície da Terra [RAPER & MAGUIRE, 1992].

No intuito de adquirir, editar armazenar e visualizar os dados, foram utilizados softwares do SIG como, postgresQL, postGIS, Pgrountig, QGIS e a linguagem R, como base para a execução do trabalho. O postgresQL é um sistema de gerenciamento de dados de código livre, que através do postGIS (extensão que permite a leitura de arquivos em GIS), armazenou os dados que foram editados no QGIS.

O Quantum GIS (QGIS) é um software livre e gratuito que possui as capacidades de visualizar, editar e analisar dados geográficos. Para a elaboração de cálculos numéricos, utilizamos o R, que é uma linguagem computacional e um ambiente estatístico, que nos auxilia na obtenção dos resultados em na forma de grafos direcionados, pois disponibiliza bibliotecas compartilhadas, capazes de processar programas armazenados em arquivos. No nosso caso, utilizaremos arquivos de texto obtidos através dos procedimentos já citados anteriormente.

O R é um ambiente moderno muito utilizado atualmente em projetos científicos de universidades, pois são disponibilizados nos termos da GNU (General Public License) e patrocinado pela FSE (Free Software Foundation) que permitem a facilidade de compartilhamento, através de sites e espelhos em vários idiomas, além de ser um ambiente de domínio público e possuir código livre, que proporciona aos pesquisadores, buscar o aperfeiçoamento de programas inclusos na linguagem. Isso torna essa linguagem atrativa e inovadora, e fez com que os trabalhos realizados com ela, ganhassem destaque por meio de uma plataforma acessível.

Outra facilidade que o R oferece é a compilação em diversas plataformas, dentre elas estão a Unix, Linux, Macintosh, Windows, entre outras. E ainda consegue manipular interfaces escritas em C, C++, ou FORTRAN. E para a obtenção de cálculos estatísticos possui um acervo com diversos procedimentos estatísticos convencionais, como, modelos lineares, modelos lineares generalizados, modelos de regressão não linear, análises de séries temporais, testes estatísticos clássicos paramétricos e não paramétricos, métodos da estatística multivariada como análise de cluster, componentes principais, análise fatorial, etc. Também há uma grande quantidade de funções para desenvolvimento de ambiente gráfico e criação de diversos tipos de apresentação de dados.

Quando o R é instalado, obtém-se também, vários pacotes que estão disponíveis na rede de distribuição do R, denominada CRAN. Entre eles, o pacote igraph, que foi escrito inicialmente para a linguagem C e foi adaptado para manipulação no R, e por consequência de suas atribuições foi escolhido para obtenção dos resultados do nosso trabalho. 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 gráficos (com milhões de vértices e arestas), permitindo a

prototipagem rápida através de linguagens de alto nível como R.

4.2 Etapa 1: Uso do sistema de informações geográficas

Primeiramente foram obtidos dados do openstreetmaps através do complemento OpenLayers do QGIS, onde foi escolhida a opção “adicionar uma camada do Openstreetmaps” para enquadrar a camada na tela de edição (Figura 1), em seguida foi preciso baixar o arquivo OSM através do complemento “Vetor > OpenStreetMap > Download data” Salvar o arquivo de extensão OSM”.

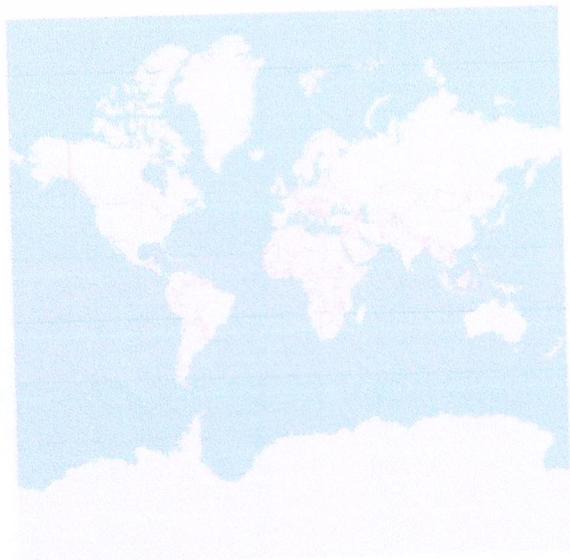


Figura 3. Camada do Openstreetmaps adicionada ao QGIS

Para converter a estrutura de dados da extensão OSM, para pgrouting, foi preciso criar um banco de dados no postgresql – que é um 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 postgis, por exemplo, tem como função preparar o arquivo para ser manipulado no QGIS, e o pgrouting é uma ferramenta do postgis que proporciona ao usuário condições de trabalhar com algoritmos de roteirização.

Dando prosseguimento foi criado um diretório com o arquivo mapconfig.xml e utilizado o Prompt de comando para 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 concomitantemente as camadas do pgrouting. Por conseguinte 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, e portanto é necessário mudar o SRC para o formato UTM - SIRGAS 2000 – zona 21S, que é onde fica localizada a região que se encontra a cidade de Santarém-PA, e segundo o IBGE é o datum utilizado no Brasil. Os projetos iniciados no QGIS apresentam o formato universal no início, no caso o datum WGS84.

Para analisarmos os dados aplicando o algoritmo de dijkstra através, do software de computação numérica, foi preciso fazer um tratamento de dados, no QGIS, utilizando os arquivos convertidos em Shapefile, na propriedade descrita como tabela de atributos, na qual obtivemos da camada arestas os valores descritos como source, target e oneway. Os atributos source e target são determinantes para gerar a malha e indicar os possíveis melhores caminhos. Entretanto nesse trabalho estamos tratando da malha viária do Município de Santarém, e por isso devemos dar atenção especial ao sentido das vias, pois é através dele que encontramos melhores caminhos. O responsável por indicar essa característica é o oneway, que 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. Seguindo esse princípio editamos a tabela, ajustando sentido de vias que haviam sido trocados, pois os dados coletados possuem uma atualização um tanto lenta, e por isso foi realizada essa etapa.



Figura 4. Mapa da Malha viária de Santarém, após o tratamento de dados no QGIS.

4.3 Etapa 2: Uso do sistema de computação numérica

A segunda etapa consiste no uso do ambiente de computação estatística R, através da biblioteca *igraph*, no intuito de alcançar as simulações de menores caminhos. O algoritmo de Dijkstra será utilizado para encontrar o menores caminhos entre vértices quaisquer de um grafo.

Resumidamente, o algoritmo de Dijkstra foi proposto em 1959 pelo cientista da computação holandês Edsger Dijkstra, e considera um grafo G , composto por um conjunto de vértices V , e um conjunto de arestas A . Além disto, são fornecidos dois vértices pertencentes a V , que são a origem e o destino. Os vértices são divididos em três grupos: os que já foram visitados (conjunto C), os que são candidatos ou de fronteira (conjunto F) e os que nunca foram visitados ou "desconhecidos" (conjunto D). O algoritmo se resume aos seguintes passos:

1. O conjunto C é inicializado e contém apenas o vértice de origem. Os vértices vizinhos imediatos do vértice de origem são inseridos no conjunto F , sendo registrados os custos para alcançá-los a partir do vértice de origem, e os demais inicialmente pertencem ao conjunto D .
2. A cada passo do algoritmo, os vértices do conjunto F são verificados para determinar qual seria a melhor opção para expandir a pesquisa. Será escolhido e transferido para C o vértice cujo custo acumulado seja o menor dentre os candidatos, e seus vizinhos serão então transferidos do conjunto D para o conjunto F .
3. A pesquisa para quando o vértice d for alcançado ou quando não houver mais vértices a percorrer (neste caso, não existe caminho viável entre os vértices de origem e de destino).
4. Quando os caminhos simulados forem isonômicos, o peso de todos os vértices será o mesmo. Já quando for considerada a condição de pavimentação das vias, pesos diferentes serão atribuídos para as arestas, representando o custo de tráfego. Neste sentido, o custo de tráfego será maior quando a via for não pavimentada. Ao longo das simulações de caminhos, serão contabilizadas quantas vezes cada vértice pertenceu ao conjunto C .

Para encontrarmos os melhores caminhos e prosseguirmos com os objetivos da pesquisa, utilizamos uma estratégia, que consiste em contabilizar a quantidade de vezes que cada caminho é percorrido no intuito de obter uma medida do congestionamento do vértice para cada simulação. Para executar essa estratégia empregamos a ferramenta *betwenness* (ou intermediação), que é responsável por simular os menores caminhos e montar o grafo direcionado.

Na teoria dos grafos, a ferramenta *betwenness* é uma medida de centralidade que se baseia em caminhos mais curtos. Dentre os pares de vértices em um grafo integrado, existe pelo menos um caminho mais curto entre os vértices, de modo que o número de arestas percorridas no trajeto ou a soma dos pesos das arestas é minimizado. A *betwenness*, ou intermediação, para cada vértice é o número desses caminhos mais curtos que passam pelo vértice.

A betweenness encontra ampla aplicação na teoria da rede, ela representa o grau de importância de cada vértice entre o total encontrado no grafo em questão. Por exemplo, em uma rede de telecomunicações, um vértice com a maior medida de centralidade teria maior controle sobre a rede, porque mais informações passarão por ele. Por esse motivo essa ferramenta funciona como uma medida geral de centralidade, podendo ser aplicada em muitas áreas de conhecimento, inclusive em questões que envolvem malhas viárias. Por esse motivo foi escolhida para compor a análise.

A função Shortest Paths foi escolhida para o calcular os caminhos mais curtos, porque calcula o caminho em si, e não somente seu comprimento, seja de origem ou destino o vértice dado. É utilizada para encontrar os menores caminhos de modo a diminuir o trajeto ou o peso, nesse caso usamos a distância como peso.

Através dessa função podemos obter diversos resultados, utilizando os mesmos dados da malha, porém simulando problemáticas distintas, como:

- O problema do caminho mais curto entre um par de vértices: Permite encontrar o caminho com o menor número de bordas entre o par.
- O problema do caminho mais curto de única origem: Consiste em encontrar os caminhos mais curtos partindo de um vértice de origem V para todos os outros vértices no grafo.
- O problema do menor caminho de único destino: nesse caso temos que encontrar os menores caminhos de todos os vértices no grafo direcionado para um único vértice de destino V .
- O problema do menor caminho entre de todos os pares de vértice: no qual devemos encontrar menores trajetos entre cada par de vértices V, V' no grafo.

Dentre os problemas acima utilizamos o problema do caminho mais curto de única origem, para indicar os menores caminhos para uma das problemáticas escolhidas, e o problema do menor caminho entre de todos os pares de vértice, com uma análise básica desconsiderando o sentido das vias.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Para iniciarmos a pesquisa e obtenção de resultados, passamos por um período de treinamento, ministrado pelo Orientador do Projeto Professor Dr. Rodolfo Maduro Almeida, no intuito de obter afinidade com as ferramenta que deveríamos utilizar na pesquisa. Nesse período foi repassada a primeira forma de obter a medida de centralidade, betweenness já mencionada anteriormente. Porém de uma maneira simplificada, pois não necessita de um tratamento detalhado

de dados. Essa medida foi realizada desconsiderando o sentido das vias, e partiu do princípio do problema de menor caminho de todos os pares de vértices, no qual deve-se encontrar menores caminhos entre todos os pares de vértices. O script utilizado é de menor complexidade, basta obter o pacote Igraph e aplicar diretamente a função *betwenness*.

Por conta de algumas mudanças na malha viária do município de Santarém, desde o início da pesquisa até o estágio atual, aconteceram algumas mudanças na medida de centralidade, porém é um resultado com efeito de visualização, um tanto superficial, por conta da análise não acontecer de forma detalhada.

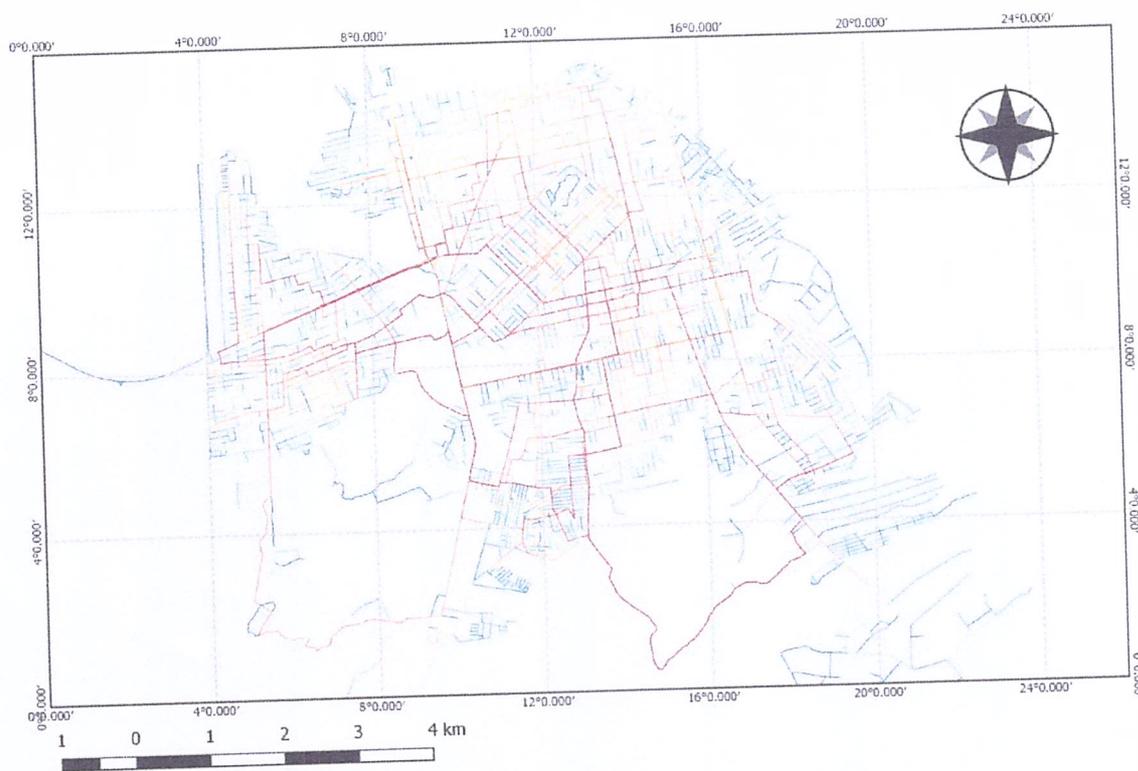


Figura 5. Mapa da Malha viária de Santarém-PA, resultado da análise com a ferramenta *betwenness* sem considerar o sentido da via, em Outubro de 2016.

As mudanças que influenciaram principalmente nessa análise, aconteceram com a expansão da cidade no sentido Oeste, onde foi instalado o programa do Governo federal, Minha casa minha vida, denominado Residencial Salvação, que atualmente foi considerado um bairro, necessitando de um fluxo mais intenso, e conseqüentemente, modificou bastante o grau de importância de alguns pontos da malha.

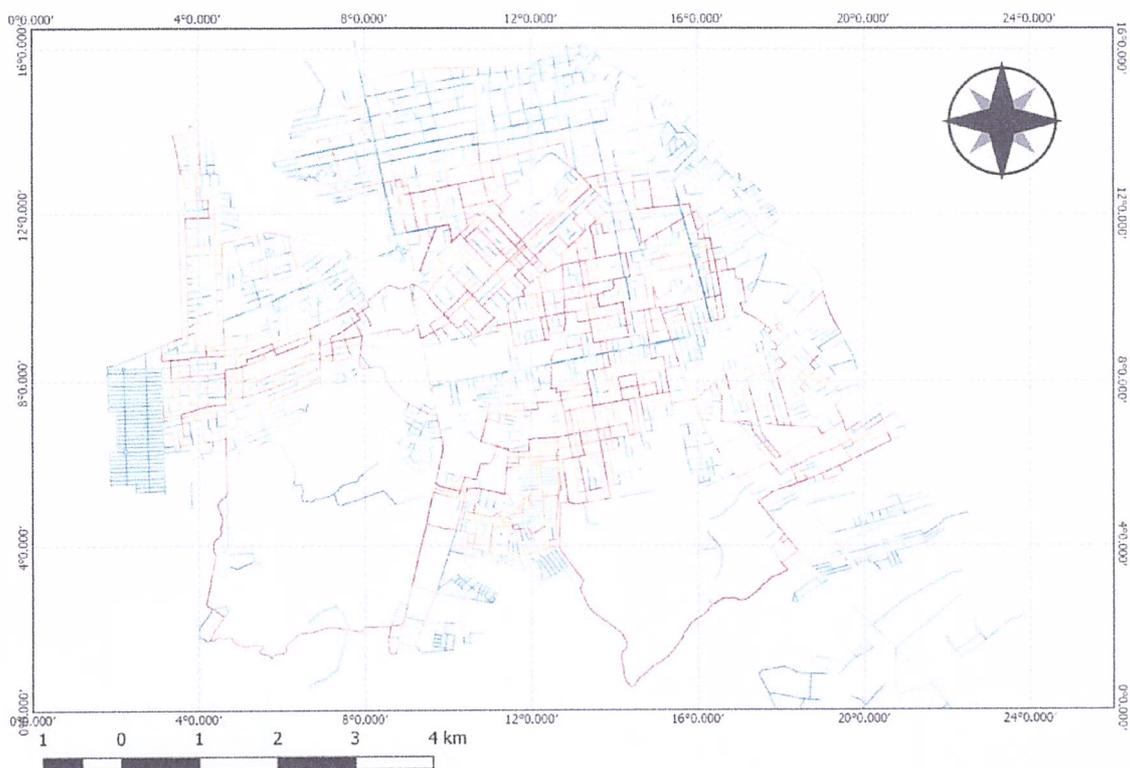


Figura 6. Mapa da Malha viária de Santarém-PA, resultado da análise com a ferramenta betweenness sem considerar o sentido da via, em Junho de 2017.

Na Figura 6 podemos observar a mudança na importância de alguns caminhos, principalmente na parte norte da cidade e nas vias internas dos bairros centrais, e através de uma análise visual, podemos destacar um aumento de importância de vias antigamente obsoletas.

Passando para uma análise mais aprofundada, começamos um tratamento de dados, através da atualização das vias, pois alguns dados fornecidos pelo Openstreetmaps estavam desatualizados. Por conta disso, foi preciso promover uma atualização de dados manualmente no atributo Oneway, que armazena o sentido das vias. O método aplicado foi, adicionar a camada vetorial, shapfile, e visualizar as vias que haviam trocado de sentido e após o diagnóstico, abrir a tabela de atributos e mudar o sentido, 1 para vias de sentido único e 0 para idas e volta.

Após esse tratamento, os dados já estavam prontos para aplicar a função e encontrar os menores caminhos. O código utilizado foi de fácil entendimento, e apresentou os princípios já citados. Após compilarmos o código, foram geradas algumas tabelas, cada uma continha resultados distintos, com dados baseados nos problemas de menores caminhos explicados anteriormente.

O resultado obtido partiu do problema do caminho mais curto de única origem, que consiste encontrar menores caminhos partindo de vértices de uma única origem e vários destinos.

No qual utilizamos um vértice de origem que partiu do Cruzamento mais próximo do 4º Grupamento de Bombeiros militar, para todos os outros vértices de destino da malha. Pois o objetivo foi abranger uma problemática relevante para a sociedade, levando em consideração a importância do trabalho dos Bombeiros para a sociedade Santarena e mostrar as vias que são de maior relevância para a melhora do tráfego das viaturas, para quaisquer destino dentro da malha viária de Santarém-PA.

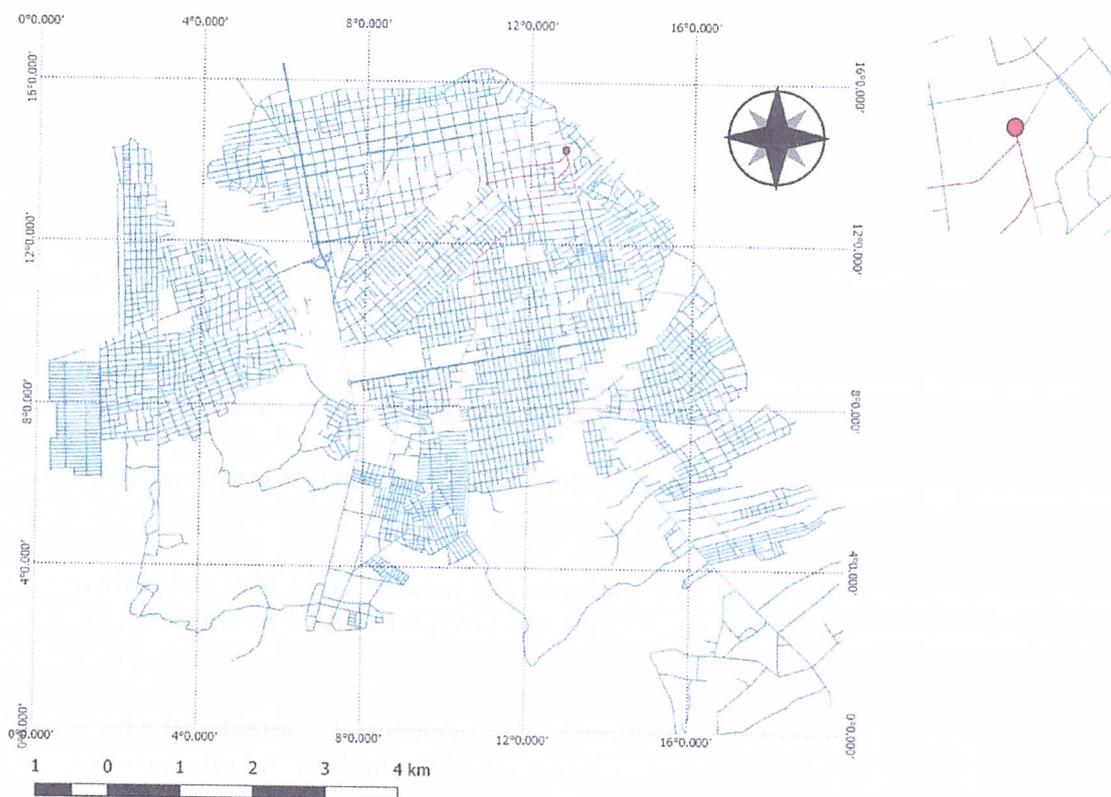


Figura 7. Malha Viária do Município de Santarém-PA, Mostrando os menores caminhos do vértice de origem (no Shapefile 2469, e no igrph 895) para todos os destinos do grafo $V(g)$.

O Resultado demonstrou nitidamente a distância do 4º Grupamento de Bombeiros Militar de alguns bairros de Santarém, e também alcançou o objetivo de mostrar as vias de maior importância para o deslocamento de viaturas na cidade. A ferramenta *betweenness* foi compilada juntamente com a função *shorts paths*, que foi responsável pela obtenção dos menores caminhos, seguindo uma estratégia de resolução de problemas.

8. ANEXOS

9. PARECER DO ORIENTADOR

Santarém-PA, 25 setembro de 2017


Assinatura do orientador


Assinatura do bolsista