

Construção de rede de macro e micro simulação para a cidade de Santo André/SP.

Autores: Leonardo Palermo Gentile¹; Humberto de Paiva Junior².

Endereço: ¹ Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC) – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – Curso de Engenharia Ambiental e Urbana – Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Teresinha – 09210-580 – Santo André – gentile.leonardo@gmail.com; ² Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC) – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – Curso de Engenharia Ambiental e Urbana – Avenida dos Estados, 5001 – Bloco B 9º andar Sala 928 – Bairro Santa Teresinha – 09210-580 – Santo André – humberto.paiva@ufabc.edu.br;

SINÓPSE

O presente trabalho apresenta o passo a passo da elaboração de uma rede de simulação para a cidade de Santo André através da utilização do AIMSUN. A rede oferece a possibilidade de estudos de macro e micro simulação.

PALAVRAS CHAVE

Macrossimulação, Microsimulação, AIMSUN, Pesquisa OD.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de redes de simulação de tráfego já está há muitos anos consolidada no estudo de projetos de transporte. Tanto empresas públicas como a CPTM e EMTU, como empresas de consultoria em transportes utilizam softwares conhecidos como o EMME, AIMSUN e VISUM/VISSIM para elaborar redes de simulação nas escalas macro, meso e micro.

As redes da RMSP são usualmente abastecidas com dados da pesquisa Origem e Destino realizada pelo governo do Estado de São Paulo, possuindo uma densidade de informações, de arcos e nós maior no centro da cidade de São Paulo em detrimento das periferias, incluindo as outras cidades da RMSP, como o caso de Santo André.

Redes detalhadas de transportes têm grande relevância para diversos estudos, tais como projetos de infraestrutura de transportes, políticas de mobilidade, estudo de polos geradores de tráfego e emissão de poluentes. Sendo assim, este trabalho apresenta a elaboração colaborativa de uma rede mais densa e detalhada para o município de Santo André indicando potencialidades de seu uso.

2 DIAGNÓSTICO

As Redes de simulação utilizadas pelas empresas de transporte público do estado de São Paulo, CPTM, Metrô e EMTU, bem como as comumente utilizadas por empresas de consultoria em transportes para a macrossimulação, possuem um detalhamento maior na região central da cidade de São Paulo em detrimento das regiões periféricas da RMSP, com foco especial para as regiões atendidas pelo transporte metropolitano sobre trilhos.

Foi observado, na rede utilizada para a RMSP pela CPTM, que para a cidade de Santo André, a densidade de nós e arcos não era satisfatória para estudos específicos com foco no município.

A Figura 1 exemplifica a baixa densidade de nós e arcos na cidade de Santo André, nota-se também a geometria simplificada do sistema viário, impedindo estudos mais detalhados como os que se utilizam de microssimulação.

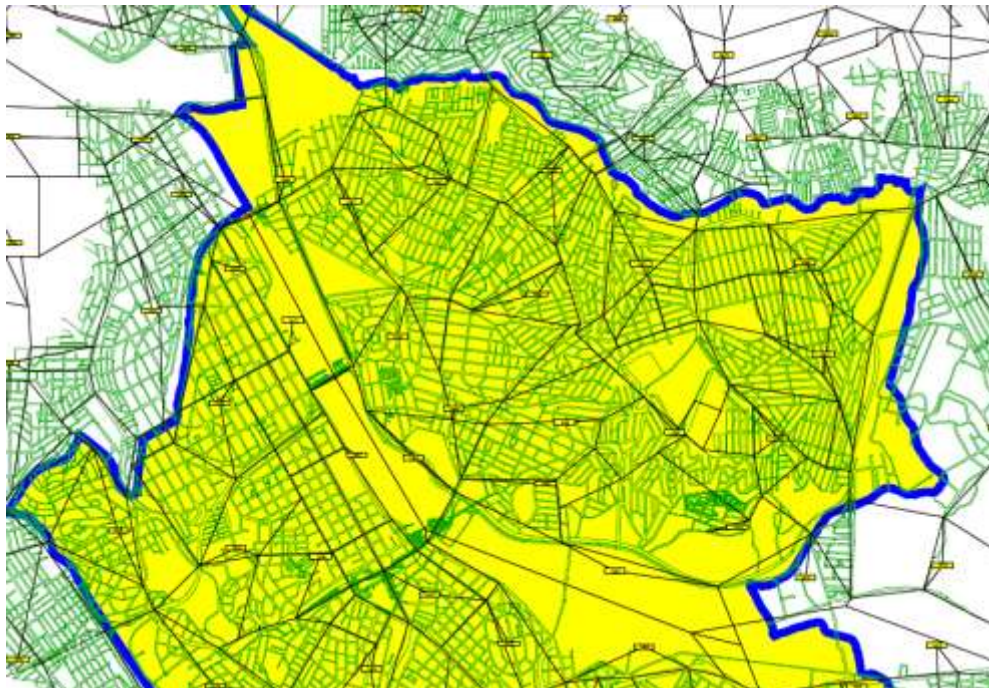


Figura 1: Rede viária para macrossimulação, nota-se baixa densidade de arcos e nós na cidade de Santo André.

Fonte: CPTM

Outro problema identificado é o da dependência por parte dos municípios da RMSP, da Secretaria de Transportes Metropolitanos (STM) e da Rede EMME para as simulações. O presente trabalho pretende mostrar que é possível a utilização de outros simuladores e de se obter certa independência da STM para as simulações, no âmbito, por exemplo, dos Planos de Mobilidade dos municípios.

3 PROPOSIÇÕES

Para que a cidade de Santo André possuísse uma rede própria e mais abrangente de simulação, que permitisse tanto a macro quanto a microssimulação, foi idealizada a construção da Rede AIMSUN no âmbito de um projeto de extensão da Universidade Federal do ABC. O Projeto Cidade Poluição e Clima (CPC) teve sua primeira fase iniciada em 2013 com a construção da rede de Santo André e outras fases dedicadas a cidades do Grande ABC e à cidade de Campinas.

Para exemplificar as potencialidades de uso de uma rede própria, a Rede AIMSUN foi construída de forma a permitir o uso de dados da Rede EMME e da Pesquisa Origem e Destino da STM. Os centroides internos à cidade são coincidentes com os da Rede EMME e centroides externos foram criados para permitir interações com a RMSP.

3.1 Montagem da Rede

A rede de simulação foi montada diretamente no AIMSUN e executada em duas etapas. A primeira foi realizada no âmbito do projeto de extensão universitária Cidade Poluição e Clima (CPC), durante o ano de 2013, na Universidade Federal do ABC (UFABC), em que os alunos participantes do projeto se dividiram para que cada um construísse um setor da rede. A segunda, foi a junção de todos os setores da cidade

formando uma rede única, para tanto, foi necessária a utilização de uma licença do AIMSUN que comportasse a edição de redes com mais de 200 km de extensão.

3.1.1 Rede CPC

A montagem da rede no âmbito do projeto Cidade Poluição e Clima teve como critérios, a escolha das vias percorridas pelo transporte coletivo municipal de Santo André e as vias contidas no estudo do “Sistema Viário de Interesse Metropolitano” (SIVIM), da EMTU, de 2013. Para o desenho da rede, foi utilizado como base um arquivo *shapefile* de quadras fornecido pela Prefeitura de Santo André.

A rede possui detalhes sobre o número de faixas de rolamento de cada seção e o movimento permitido por cada faixa de rolamento nos nós, em intersecções com outras vias. Portanto atende a necessidade da macrossimulação e está parcialmente preparada para a microssimulação, já que para esta faltariam ainda alguns elementos como semáforos, faixas de pedestres, maior detalhamento da velocidade permitida em cada seção e eventualmente a modelagem das linhas de transporte coletivo. Tais elementos podem ser adicionados ao trecho da rede em que se tem interesse em realizar a microssimulação ou a rede toda, dependendo da necessidade.

O sistema viário de Santo André foi dividido em 58 setores, de forma que cada setor fosse desenhado num arquivo separado no AIMSUN, como ilustra a Figura 2 gerando uma subrede de microssimulação para cada um.



Figura 2: Divisão das Zonas de Tráfego desenhadas por integrantes do Projeto CPC

Fonte: Grupo CPC (UFABC), 2013

Com a divisão da cidade em partes menores, foi possível o desenho da rede sem utilizar a chave avançada do AIMSUN, trabalhando com redes com menos de 200 km de extensão e desenvolvimento do projeto com diversas pessoas trabalhando em paralelo.

3.1.2 *Junção de Arquivos*

Para dar continuidade ao trabalho do projeto CPC e para atingir a finalidade proposta neste trabalho, foi utilizada a chave avançada do AIMSUN para a junção de todas as 58 subredes de microssimulação modeladas, formando assim uma rede completa da cidade de Santo André.

Na medida em que os diversos setores foram sendo adicionados, foi necessária a conexão das seções das extremidades de cada um, algumas vezes desenhando seções suplementares, outras excluindo seções sobrepostas.

Foram desenhadas também, algumas vias importantes para a cidade e para a conexão da rede que não foram contempladas pelo projeto CPC, como a Av. Itamarati, Av. das Nações, dentre outras vias e conexões importantes.

3.1.3 *Centroides*

A rede de simulação da cidade de Santo André é composta por 76 centroides, sendo 45 internos e 31 externos.

Os centroides internos, ou seja, aqueles que estão dentro dos limites municipais de Santo André, foram posicionados no mesmo lugar em que foram posicionados os centroides da Rede EMME do modelo da CPTM, tendo o mesmo número identificador. A comparação entre os centroides da Rede EMME e da Rede AIMSUN pode ser observada na Figura 3.



Figura 3: Comparação entre os centroides da Rede EMME com os da Rede AIMSUN

Fonte: CPTM, adaptado pelo autor

Os centroides externos foram posicionados nas principais entradas e saídas do limite municipal, como exemplificado na Figura 4.

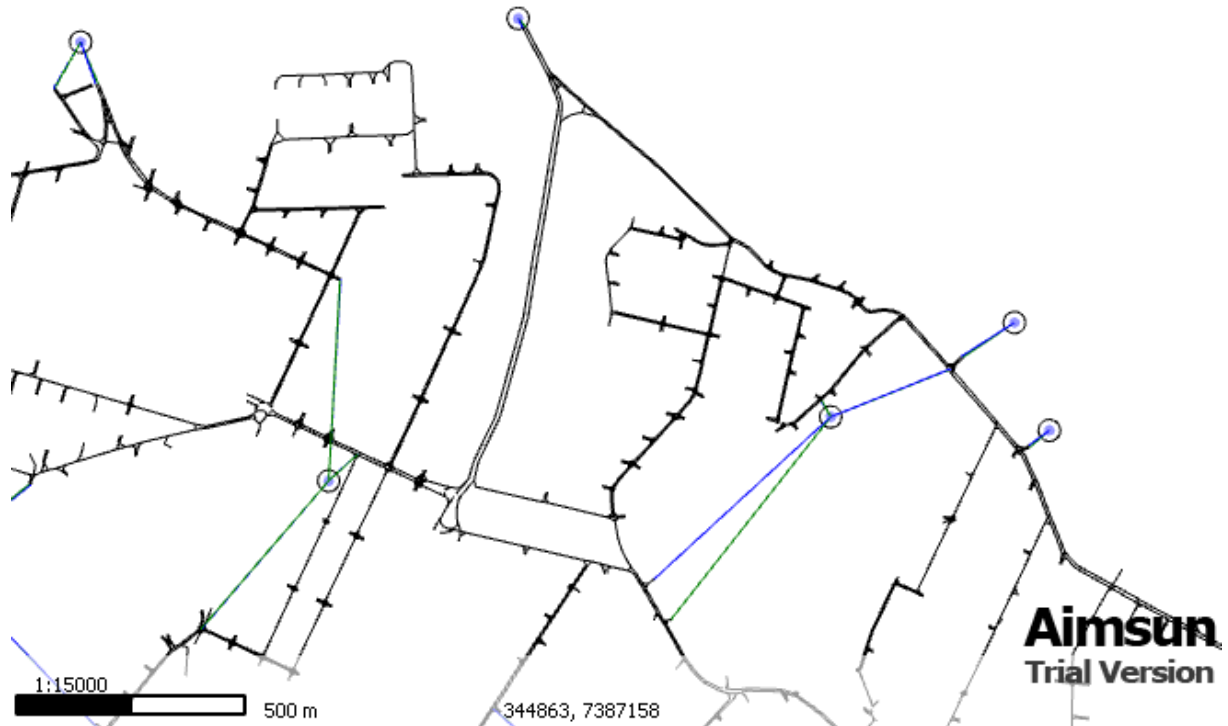


Figura 4: Centroides externos nas principais entradas e saídas do limite municipal

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 Extração de dados do Modelo CPTM

O modelo obtido junto a CPTM possui, além dos dados da alocação de tráfego, dados de todas as etapas do “Método 4 Etapas”. Através de um software para leitura da Rede EMME, o ENIF, foi possível a obtenção de dados de todos os 1895 pares OD, dentre eles o custo da viagem e o número de viagens entre um par e outro, bem como a produção e atração de cada zona, considerando as viagens de base domiciliar motivo trabalho, educação e outros motivos (BDT, BDE e BDO) bem como e viagens base não domiciliar (BND).

Com os dados da Rede EMME, foi realizado o modelo de “Distribuição Espacial de Viagens” para a produção de uma matriz de viagens que pudesse ser alocada na Rede AIMSUN. O modelo de distribuição utilizado foi o “Modelo Gravitacional de Máxima Entropia com Dupla Restrição”. (ORTÚZAR, 2011)

Como insumos ao modelo de distribuição, foram utilizados alguns dados da Rede EMME: a Produção e a Atração dos centroides internos, coincidentes aos da Rede AINSUN; foi encontrada a constante de calibração da função de impedância adotada, com base nas Viagens, Produção e Atração dos centroides da Rede EMME; a alocação de tráfego foi utilizada para que fosse determinada a Produção e Atração dos centroides externos, como mostra a Figura 5.

3.2.1 Geração de Viagens

A geração de viagens para os centroides internos e externos da Rede AIMSUN foi feita de duas maneiras: para os centroides internos foram utilizadas as produções e atrações do Modelo CPTM, levando-se em conta somente as viagens de transporte individual (TI); para os centroides externos, criados para a Rede AIMSUN, foram

utilizados os resultados da alocação de tráfego do modelo CPTM, nos arcos que cruzam a fronteira do município de Santo André.

3.2.2 Centroides Internos

Os vetores atração e produção dos centroides internos à cidade de Santo André foram determinados através do Modelo CPTM, considerando somente as viagens realizadas pelo TI, sendo as viagens de BDT, BDE, BDO e BND.

3.2.3 Centroides Externos

Os centroides externos não existem na rede CPTM, sendo assim, buscou-se um modo alternativo para a determinação dos vetores atração e produção externos.

Os centroides que representam as zonas externas (e a interação com o resto da RMSP) foram posicionados nas principais vias de acesso a cidade, que estavam presentes na Rede EMME. O modelo CPTM simulou a alocação de tráfego para estas vias no horário de pico da manhã e cenário/horizonte 2014 da RMSP. Assim, foi considerada como atração dos centroides externos todo o fluxo de veículos que saem da cidade, indo em direção ao centroide e como produção, o fluxo de veículos que saem do centroide externo, em direção a cidade. A leitura destas informações foi feita com o auxílio no Enif, como mostra a Figura 5, com o exemplo do centroide externo número 21, localizado na R. Oratório, na divisa com Mauá.

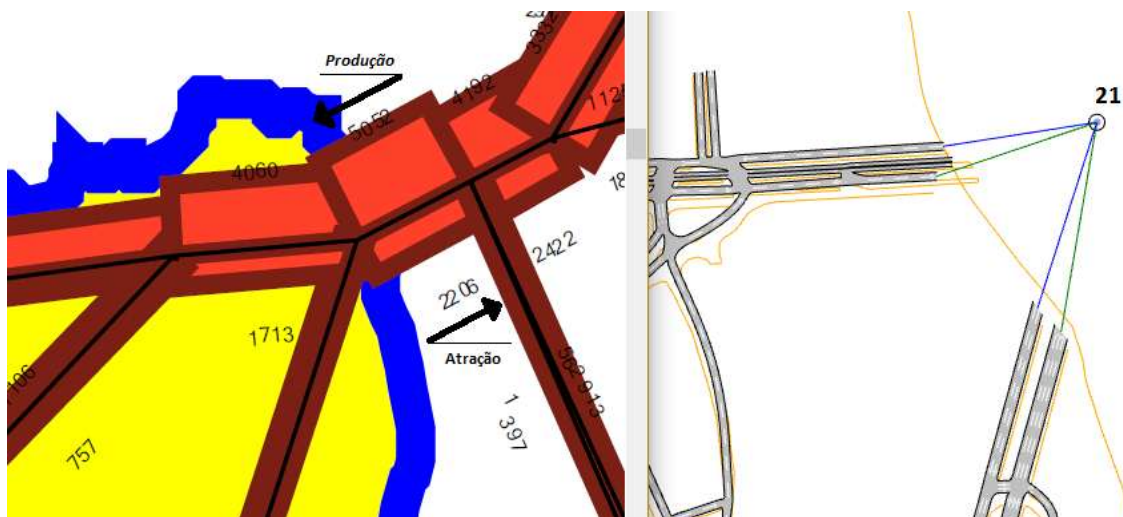


Figura 5: Produção e Atração dos centroides externos

Fonte: CPTM, adaptado pelo autor

3.2.4 Normalização dos vetores geração

Depois de elaborados os vetores de Atração e Produção de toda a rede, foi necessária a normalização de um vetor em relação ao outro, para que as somas de cada um fossem as mesmas. No caso dos centroides internos a atração foi elevada proporcionalmente até que se alcançasse a soma da produção e no caso dos centroides externos, a produção foi elevada até que se alcançasse a soma da atração.

Essa adaptação foi necessária, pois o modelo de geração utilizado só oferece resultados satisfatórios se a soma da Produção for igual a soma da Atração. Por ter sido utilizado um trecho da Rede EMME e a alocação de viagens nas principais vias de entrada e saída, mas, não de todas, as somas não eram as mesmas.

3.3 Distribuição

Após a obtenção dos vetores de atração e produção de viagens e da função de impedância, utilizou-se o modelo de “Distribuição Espacial de Viagens”, que teve como objetivo estimar o número de viagens entre os centroides da Rede AIMSUN.

Foi utilizado o modelo gravitacional de máxima entropia com dupla restrição, descrito em ORTÚZAR, 2011, que considera que o número de viagens entre determinados pares zonas de tráfego ($V_{i,j}$) é diretamente proporcional à produção da zona de origem (O_i); a atração da zona de destino (D_j); a função de impedância $R(i,j)$ e aos fatores de correção A_i e B_j .

3.4 Matriz de Viagens

A matriz de viagens resultante da primeira iteração do Modelo de Distribuição foi calculada com o Custo de Fluxo Livre, porém, após a alocação de viagens na rede com esta matriz, obteve-se uma nova matriz de custos, dessa vez com os efeitos do congestionamento da rede. Com essa nova matriz de custos, a distribuição das viagens foi novamente realizada, resultando em uma nova matriz de viagens. Este processo foi repetido até que se minimizasse o “chi quadrado” entre duas matrizes consecutivas.

O “chi quadrado” é um teste de hipóteses, não paramétrico, o princípio básico é comparar proporções, medindo possíveis divergências entre frequências observadas e esperadas de um determinado evento. Sendo assim, pode-se dizer que dois grupos se comportam de maneira semelhante se as diferenças entre o observado e esperado forem próximas a zero. (UFPA, 2009)

3.5 Alocação de Viagens

A alocação de viagens foi feita utilizando o AIMSUN 8.0, através de um experimento estático de viagens, levando-se em conta a Matriz de Viagens entre os centroides da rede, proveniente do Modelo de Distribuição.

Como resultado, obteve-se o carregamento das vias da rede de simulação, as rotas mínimas simuladas entre um centroide e outro e o índice “Veículo*Km”, que mede a distância total percorrida por todos os veículos na rede.

4 RESULTADOS

Foram produzidas: a rede AIMSUN da cidade de Santo André (montada a partir do trabalho prévio do do grupo CPC); uma Matriz de Viagens exclusiva para o município de Santo André e a alocação de tráfego na rede.

4.1 Rede AIMSUN da cidade de Santo André

A Rede AIMSUN da cidade de Santo André possui um total de 737km de vias, com 2587 interseções. O desenho da rede acompanha o padrão do microssimulador, com detalhes da geometria das vias, número de faixas e detalhamento de todos os movimentos nas interseções. A Tabela 1 apresenta um resumo das características da rede e a abrangência desta pode ser vista na Figura 6.

A Rede possui 45 centroides, coincidindo com os centroides da Rede EMME e 31 centroides externos, nas entradas e saídas da cidade.

Tabela 1: Resumo da Rede AIMSUN

Total de vias	737 km
Total de faixas	1061 km
Total de nós	2587
Total de centroides	76

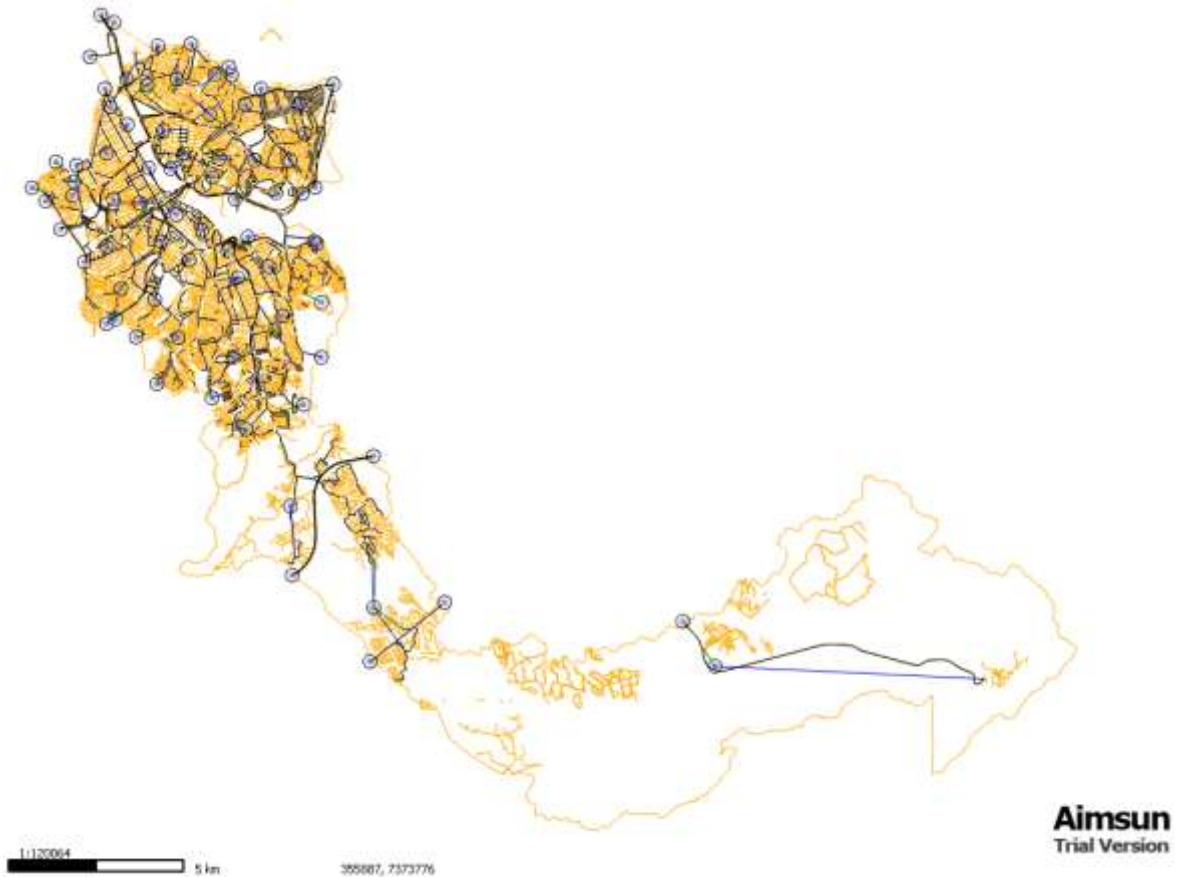


Figura 6: Abrangência da Rede AIMSUN de Santo André

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Matriz de Viagens de Santo André e Alocação de Tráfego

A Matriz de Viagens de Santo André é quadrada, com 76 linhas e colunas, foi obtida após a 7ª iteração do modelo de distribuição, sendo a matriz a que apresentou o menor “*chi quadrado*”. O gráfico da Figura 7 apresenta a variação do custo e do índice veículo*km (Vkm), para as matrizes resultantes das iterações do Modelo de Distribuição de Viagens.

Nota-se que a matriz 9 foi a de menor custo total da rede e a matriz 3 a de menor Vkm. Os custos e os índices Vkm foram obtidos com a alocação das matrizes na rede, a Figura 8 mostra um panorama geral da alocação de tráfego da matriz de viagens.

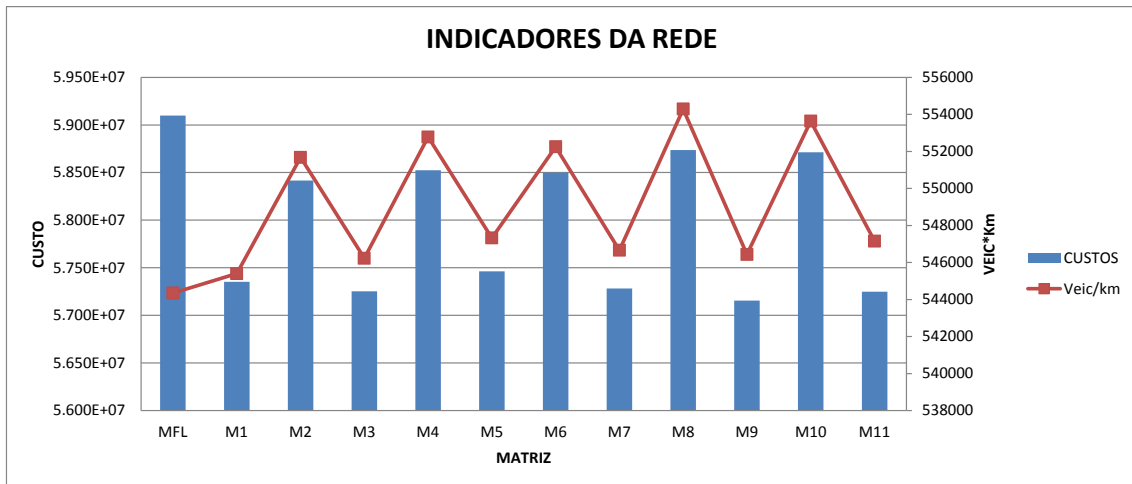


Figura 7: Variação do índice Veículo*km e do custo total da rede nas onze matrizes testadas, pela alocação estática

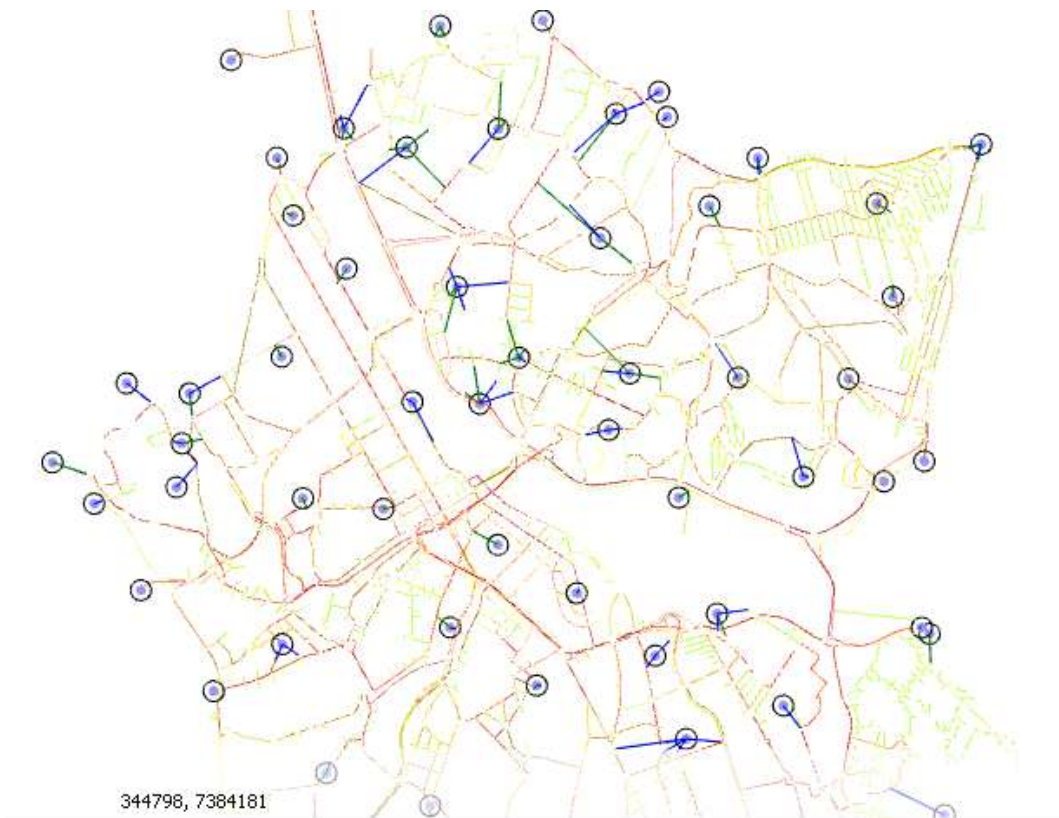


Figura 8: Alocação de tráfego em Santo André

Fonte: Elaborado pelo autor

A alocação de tráfego não foi calibrada com contagens do fluxo de veículos em avenidas, mas foi feita uma comparação da alocação de tráfego com informações disponibilizadas pelo "Google Maps" sobre congestionamento de vias. Foram comparados alguns trechos da rede simulada com dados típicos do Google para uma terça-feira, por volta das 8 da manhã. Os resultados são apresentados a seguir.



Figura 9: Av. Dos Estados X viadutos sobre a Estação Pref. Celso Daniel, Santo André

Embora o número absoluto do fluxo de veículos não tenha sido verificado, a comparação sugere que a distribuição de veículos na rede está coerente. Nota-se nas duas imagens acima um maior fluxo de veículos vindo de Mauá a Santo André.

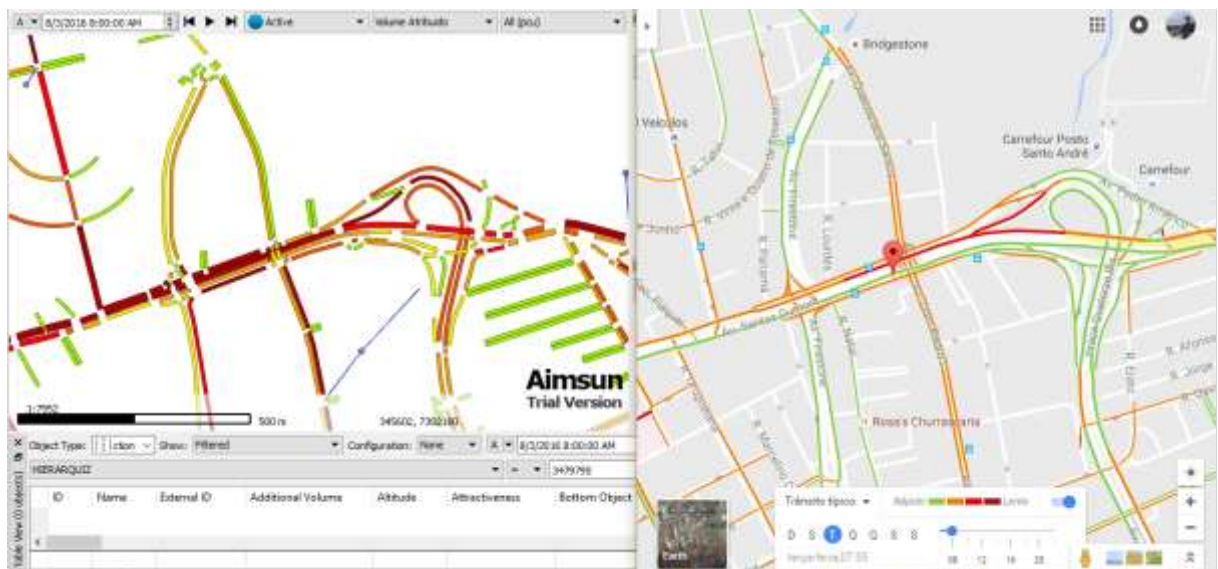


Figura 10: Av. Santos Dumont X Pça Quatorze Bis

Nota-se nas duas imagens acima um maior fluxo de veículos na Av. Santos Dumont, sugerindo que a distribuição de veículos na Rede AIMSUN está proporcional ao exibido pelo Google.

Na Figura 11 a proporção de veículos segue as mesmas tendências na Av. Cata Preta e Estr. do Pedroso.



Figura 11: Estr. Cata Preta X Estr. Do Pedroso

5 CONCLUSÕES

O trabalho utilizou os dados disponibilizados pela CPTM sobre a Rede EMME, desenvolvida a partir da Pesquisa Origem e Destino 2007, para a distribuição de viagens da Rede AIMSUN. Com os dados de Viagem, Atração, Produção e Custos da Rede EMME calibrou-se a função de custo para a Rede AIMSUN. Na etapa seguinte, já com o custo observado da Rede AIMSUN, realizou-se a distribuição de viagens, obtendo uma Matriz de Viagens exclusiva para Santo André. Lembrando que foi utilizado o cenário 2014 da Rede EMME.

O resultado de 546.569km percorridos pelos veículos na rede (índice Veículo*km - Vkm) foi superior encontrado pela Rede EMME, que segundo Duarte e Paiva (2013), foi de 379.683km percorridos. Isso se explica pelo fato da rede desenvolvida no AIMSUN ter um sistema viário mais denso e representando a geometria real das vias, gerando maiores distâncias percorridas. Isso não ocorre na Região Metropolitana porque a Rede EMME elaborada é mais simples.

A rede construída, por apresentar detalhes de geometria e movimentos permitidos em intersecções, está na metade do caminho para a realização de experimentos dinâmicos de microssimulação, faltando-lhe melhorias como detalhes do sistema semafórico e calibração da capacidade das vias. Com um experimento dinâmico seria possível avaliar os efeitos da aceleração e desaceleração dos veículos, bem como a formação de filas em intersecções da rede, aumentando a precisão da estimativa de emissão de poluentes.

Assim, conclui-se que com uma rede própria, os municípios da RMSP podem se utilizar dos resultados do modelo da Rede EMME para obter resultados próprios, aplicados a suas necessidades e a estudos de seus planos de mobilidade, por exemplo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUARTE, L.H.K.; PAIVA JÚNIOR, H.; “Inventário de emissões por fontes móveis em cidades de pequeno e médio porte”; Urbanização e Meio Ambiente, vol. 2, UNAMA, Belém, 2013. ISBN: 978-85-769-151-7

EMTU. Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos; “Sistema Viário de Interesse Metropolitano”. 2012.

Disponível em:< http://www.emtu.sp.gov.br/ftp/manual_sivim.pdf>

Acesso em: 03/05/2016

GENTILE, L. P. Inventário da emissão de poluentes provenientes do uso de sistemas de transporte individual da cidade de Santo André. [Trabalho de Graduação]. Santo André: Fundação Universidade Federal do ABC - UFABC, Engenharia Ambiental e Urbana. 2016.

METRO, Companhia do Metropolitano de São Paulo; “Relatório síntese da pesquisa OD 2007”.

Disponível em:< http://www.metro.sp.gov.br/metro/arquivos/OD2007/sintese_od2007.pdf>

OD2007/sintese_od2007.pdf>

Acessado em 02/04/2016

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G.; “Modelling Transport”, 4ª edição, editora Wiley, Londres, 2011. ISBN: 978-0-470-76039-0

PAIVA, H. Cidade, Poluição e Clima – Inventário de transportes de Santo André. Projeto de Extensão Universitária, Edital 029/2013. Santo André: Fundação Universidade Federal do ABC - UFABC, Pró-reitora de Extensão e Cultura – PROEC. 2013.

UFPA; “Qui Quadrado”. Laboratório de Informática, ICB, 2009.

Disponível em: <<http://www.ufpa.br/dicas/biome/biopdf/bioqui.pdf>>

Acesso em: 20/10/2016