

Análise do efeito da agregação das variáveis do tráfego na estimativa de emissões veiculares

Gabriel Bittencourt Jacondino (PPGEP/UFRGS)
Helena Beatriz Bettella Cybis (PPGEP/UFRGS)

Resumo

O objetivo deste trabalho é comparar o efeito da agregação das variáveis do tráfego na estimativa de emissões veiculares. A análise é realizada através da comparação dos resultados de quatro metodologias distintas para o cálculo de inventários de emissão de uma via arterial de Porto Alegre. As metodologias diferenciam-se entre si pelo nível de resolução espacial e temporal das características do tráfego. A quantificação das emissões é feita a partir do uso integrado do modelo de emissão CMEM com os modelos de tráfego SATURN (macroscópico) e DRACULA (microscópico). Os resultados indicam a diferenças resultantes da metodologia empregada.

Palavras chave: simulação de tráfego, inventários de emissão, modelagem, emissões veiculares.

1 Introdução

O tráfego de veículos é um dos grandes responsáveis pela degradação da qualidade do ar nos centros urbanos. De acordo com a União Européia (2002), o tráfego rodoviário foi responsável por 63% do Monóxido de Carbono (CO), 39% dos Hidrocarbonetos (HC), 47% dos Óxidos de Nitrogênio (NOx) e 29% do Dióxido de Carbono (CO₂) lançados na atmosfera. Ainda que os recentes avanços tecnológicos (ex: catalisador, injeção eletrônica, etc.) tenham reduzido de forma significativa a quantidade de emissões produzidas por quilômetro viajado, o crescimento da frota de veículos e o aumento nas distâncias viajadas tendem a compensar este benefício (WBCSD, 2001).

A redução das emissões também pode ser alcançada com a implantação de medidas que modifiquem o padrão de utilização dos automóveis. O Clean Air Act de 1990 editado nos EUA (TRB, 2001) define que as medidas de controle de transporte (MCT) são aquelas que propiciam a redução das emissões dos veículos, entre outros benefícios, com base na modificação do padrão de utilização dos automóveis.

A avaliação da eficácia das MCT para a redução das emissões veiculares somente pode ser avaliada a partir da elaboração de inventários de emissão. A estimativa das emissões geradas pelos veículos rodoviários é, de forma geral, feita com modelos de emissão que usam a velocidade média e o volume, como parâmetros descritíveis do nível de atividade dos veículos. Entretanto, a recente instrumentação de veículos possibilitou a medição de emissões produzidas durante a sua operação em condições reais. A análise dos resultados de diversos esforços de coleta de dados indica que o uso da velocidade, como única variável de poder explanatório do nível de atividade dos veículos conduz a realização de inventários de emissões imprecisos. Este problema é agravado quando são avaliadas MCT que modifiquem os níveis de aceleração e velocidades dos automóveis.

Entre os argumentos para esta justificativa cita-se a baixa correlação entre as emissões de alguns poluentes e a velocidade média. Além disso, em algumas situações a mesma velocidade média pode corresponder a diferentes condições de operação (Niemeyer, 2003). Contudo, o argumento mais relevante está no fato de que o ciclo de condução, empregado para o desenvolvimento dos modelos baseados na velocidade média (ciclo FTP 75), apresenta características de operação (velocidade média e acelerações) muito distintas das condições de operação do mundo real (Kelly e Groblicki, 1993). Para compensar estas deficiências a última versão do modelo de emissão da EPA inclui 11 tipos de ciclos de condução, de acordo com a classificação da via e o seu nível de serviço (EPA, 1999). Os modelos que quantificam as emissões com base na velocidade média são classificados como estáticos.

A necessidade de quantificação das emissões veiculares observando resoluções espaciais e temporais do tráfego mais desagregadas levou ao desenvolvimento de modelos de emissão dinâmicos. Os modelos dinâmicos possuem dois tipos de classificação. No que se refere à descrição do tráfego eles podem ser: (i) microscópicos, quando empregam variáveis cinemáticas instantâneas (velocidade e aceleração segundo a segundo); e (ii) mesoscópicos, quando as variáveis cinemáticas são agregadas (ex: velocidade e número de paradas, velocidade e aceleração média, tempo gasto em cada modo de operação).

Os modelos dinâmicos podem ser classificados, ainda, de acordo a metodologia empregada no seu desenvolvimento. Os mapas de emissão possuem a forma de matriz, onde uma dimensão representa as variações de velocidade e a outra as acelerações ou potência. Os cálculos são feitos a partir da visualização das matrizes, onde para cada velocidade e aceleração há uma quantidade específica de emissões. Os modelos baseados em regressão são, em geral, regressões lineares que empregam funções de aceleração e velocidades específicas como variáveis explanatórias. Os modelos baseados no carregamento, ou modelos físicos, representam os fenômenos físicos e químicos que geram as emissões veiculares. Estes modelos são compostos por módulos que simulam cada passo do processo. Para maiores detalhes sobre as deficiências e vantagens de cada abordagem consultar Capiello (2002).

Para a execução dos inventários de emissão além do modelo de emissão é necessária a obtenção de informações que descrevam o tráfego. As informações do tráfego são obtidas com a aplicação de três tipos de metodologias: (i) pesquisas de campo; (ii) modelos de tráfego; e (iii) informações em tempo real. Embora o uso de modelos de tráfego dependa de dados coletados para a sua calibração, o seu uso é vantajoso em comparação às outras metodologias porque permite a representação dos veículos de forma individual (micro-simuladores) possibilitando a sua integração com modelos dinâmicos. Além disso, eles permitem a previsão de cenários, fundamental para a avaliação de medidas de melhoria de fluxo de tráfego.

Existem diversas metodologias para a quantificação das emissões veiculares. A principal distinção entre elas é a forma de descrição do tráfego. O objetivo deste trabalho é analisar o efeito da agregação das variáveis do tráfego na estimativa das emissões veiculares. A análise é feita a partir da comparação de quatro inventários de emissão, aplicados a um corredor viário urbano, utilizando quatro metodologias distintas no que se refere à representação do tráfego: (i) velocidade média e quilometragem viajada; (ii) velocidade média e distância viajada por arco; (iii) velocidade média e número de paradas por arco; e (iv) velocidade e aceleração dos veículos segundo a segundo. O artigo está dividido em cinco seções além desta introdução. Os modelos utilizados no estudo são apresentados na segunda seção. Na terceira, há a descrição do cenário de estudo, da coleta de dados e da calibração dos modelos de tráfego. Na quarta seção apresenta-se a metodologia utilizada no estudo, os resultados gerados e suas análises. Por fim, apresentam-se as conclusões do estudo.

2 Modelos Empregados no Estudo

2.1 O Modelo SATURN

O SATURN - *Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks* – (Van Vliet e Hall, 2000) é um modelo de alocação e simulação de tráfego desenvolvido para a avaliação de esquemas alternativos de gerenciamento de tráfego em redes. Ele foi concebido originalmente no início da década de 80 e desde então vem sofrendo vários aperfeiçoamentos teóricos e computacionais.

O modelo SATURN é formado por dois módulos que podem funcionar combinados ou de maneira distinta. O módulo de alocação realiza a escolha de rotas e determina a demanda nos arcos da rede viária. O módulo de simulação de tráfego, que incorpora os mesmos princípios teóricos do TRANSYT, é responsável pela estimação dos tempos de viagem na rede.

2.2 O Modelo DRACULA

O DRACULA - *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation* – (Liu, 2000) é um modelo microscópico de simulação do tráfego urbano. No modelo as velocidades e as posições dos veículos são atualizadas em incrementos fixos de tempo de 1 segundo. O modelo de tráfego é contínuo no espaço, o que significa que o veículo pode ser posicionado em qualquer ponto ao longo dos arcos. Os veículos são individualmente caracterizados, incluindo a sua descrição física e operacional (tipo de veículo, comprimento, máxima aceleração e desaceleração) e descrição comportamental do condutor (tempo de reação, velocidade desejada, e distância do veículo precedente). Estas características são aleatoriamente escolhidas a partir de uma distribuição normal, com médias e coeficientes de variação informados pelo usuário para cada tipo de veículo. O seu movimento é governado por modelos de *car-following*, regras de aceitação de brechas e regulamentações do tráfego em interseções.

2.3 O Modelo CMEM

O CMEM (*Comprehensive Modal Emissions Model*) é um modelo de emissão físico desenvolvido na Universidade da Califórnia em Riverside e na Universidade de Michigan (Barth *et al.*, 2001) patrocinado pelo National Cooperative Research Project. O modelo foi calibrado usando uma ampla base de dados de testes em

300 veículos. A base de dados inclui medidas em dinamômetro de chassi segundo a segundo da velocidade, emissões do motor e emissões de descarga em três diferentes ciclos de condução.

O modelo CMEM é composto por 6 módulos (Figura 1) e é capaz de estimar a emissão de 26 categorias de veículos, entre automóveis e veículos comerciais. O usuário especifica a categoria do veículo e a variação da sua velocidade segundo a segundo. Podem ser especificados ainda, o tempo de inatividade dos veículos, a sua aceleração, a inclinação do greide e a presença de equipamentos no veículo (ex: ar-condicionado). O modelo CMEM foi validado através da comparação da medição de emissões em veículos com os resultados gerados, apresentando resultados satisfatórios (Schultz *et al.*, 2001).

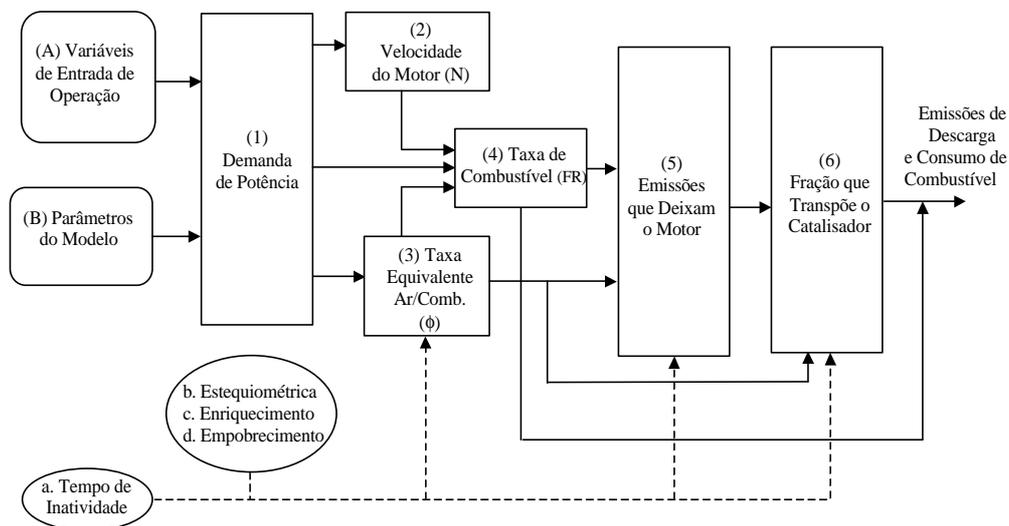


Figura 1 - Estrutura do modelo CMEM

3 Estudo de Caso

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo modelada é composta por um trecho de 1,3 km da segunda Perimetral de Porto Alegre (Figura 2). A cidade de Porto Alegre possui um sistema de vias radiais que ligam os bairros ao centro da cidade. Este sistema é complementado por vias perimetrais que possibilitam o deslocamento entre os bairros sem a necessidade de circular pelo centro da cidade. O trecho abrange a avenida Goethe, iniciando abaixo da passarela do Parque Moinhos de Vento, e a avenida Mariante, finalizando no viaduto sobre a avenida Protásio Alves. O trecho possui 6 interseções semaforizadas e 5 controladas por regra de prioridade. O corredor da perimetral é composto por duas pistas sendo que cada uma possui, de acordo com o segmento, duas ou três faixas. Todas as vias transversais possuem sentido único, parte delas com sentido Centro-Bairro (Oeste-Leste) e outras com sentido Bairro-Centro (Leste-Oeste).

3.2 Coleta de Dados

A demanda de tráfego foi obtida através de contagens volumétricas manuais com pesquisadores localizados em 17 pontos da área de estudo. O fluxo de entrada foi 11013 veh/hora. As contagens foram realizadas no período das 17:30 às 18:30 horas e segregadas em períodos de 15 minutos. Foi identificada uma pequena variação no volume de tráfego entre os intervalos coletados e, portanto, o tráfego foi considerado constante no período modelado. A determinação da composição do tráfego foi realizada a partir de filmagens feitas na área de estudo, sendo que o fluxo é composto por 95% de veículos leves, 4% de veículos médios e 1% de veículos pesados.

Os tempos de viagem foram coletados nos dois sentidos do trecho de estudo de acordo com a técnica do veículo flutuante (FHWA, 1998). Os dados foram coletados em quatro rodadas por sentido, sendo os tempos de viagem contabilizados para cada segmento do trecho. Os segmentos são compreendidos entre duas interseções semaforizadas, totalizando 6 trechos. Os trechos iniciais foram descartados, uma vez que seus resultados não serão contabilizados para a quantificação das emissões. O tempo de viagem médio no sentido Norte-Sul foi de 203 segundos e 173 segundos no sentido Sul-Norte.

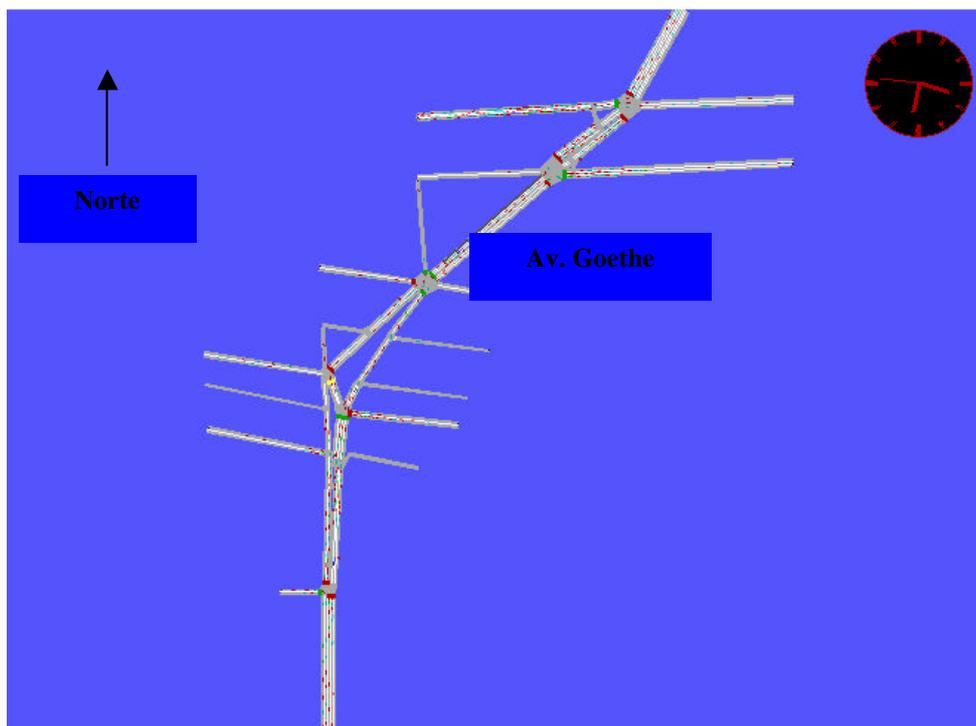


Figura 2 - área de estudo representada no módulo gráfico do DRACULA

3.3 Calibração dos modelos de tráfego

A etapa de calibração consiste no ajuste dos parâmetros dos modelos de tráfego para que os resultados gerados sejam compatíveis com os observados em campo. Os indicadores de desempenho da rede modelada adotados neste estudo para a calibração dos simuladores de tráfego são o fluxo total da rede, o tempo de viagem no sentido Norte-Sul e o tempo de viagem no sentido Sul-Norte.

A calibração do modelo SATURN consistiu no ajuste dos valores do fluxo de saturação inicialmente configurados de acordo com os valores adotados por Araújo e Cybis (2002) e modificação do valor *default* da variável representativa do parâmetro de aceitação de brechas. O modelo DRACULA foi calibrado com o emprego de metodologia desenvolvida por Araújo *et al* (2004). Os parâmetros de entrada modificados e os seus respectivos intervalos de investigação foram idênticos aos adotados neste estudo, bem como o projeto de experimentos. As regressões lineares apresentaram coeficiente de correlação ajustado próximo a 0,8. A tabela 1 mostra os valores dos indicadores observados em campo e os obtidos pelos modelos calibrados. Os valores dos parâmetros estimados pelo DRACULA correspondem à média de três rodadas com sementes estocásticas distintas. Entre parênteses está a diferença entre a resposta da simulação e o valor observado.

	Observados em campo	Modelo SATURN	Modelo DRACULA
Fluxo total	11013	11007 (100%)	10573 (96%)
Tempo Viagem Sul-Norte	173	170 (98%)	159 (92%)
Tempo de Viagem Norte-Sul	203	200 (99%)	162 (80%)

Tabela 1: indicadores dos modelos calibrados

4 Metodologias Empregadas

Para a análise da agregação das variáveis do tráfego na estimativa das emissões veiculares, efetuou-se a comparação de 4 metodologias para a modelagem das emissões veiculares (inventários de emissão). As emissões veiculares avaliadas foram o CO, os NO_x e os HC. A quantificação das emissões refere-se apenas à Av. Perimetral, as vias transversais são excluídas da análise. O objetivo da análise é a comparação de metodologias, em função disto apenas um tipo de veículo (veículos leves) é considerado na análise. A descrição das metodologias e os passos necessários para a modelagem das emissões são expostos a seguir.

4.1 Metodologia 1

A primeira metodologia consiste na quantificação das emissões tendo como base a velocidade média de todo o trecho no dois sentidos (Norte-Sul e Sul-Norte) e a distância total percorrida pelos veículos. Ela representa uma abordagem macroscópica das características do tráfego. Esta metodologia é a mais usualmente utilizada, aplicada aos inventários de emissões em áreas extensas. A modelagem das emissões é composta por três etapas. Na primeira, foram coletados os dados de campo (fluxos, comprimento do trecho e velocidades). Na segunda etapa foram construídas as curvas dos fatores de emissão para cada poluente analisado, empregando a metodologia dos fatores de correção de velocidade (EPA, 1999) aos resultados do teste de um veículo em um dinamômetro de chassi (ciclo FTP 75) simulado pelo modelo CMEM (Figura 3).

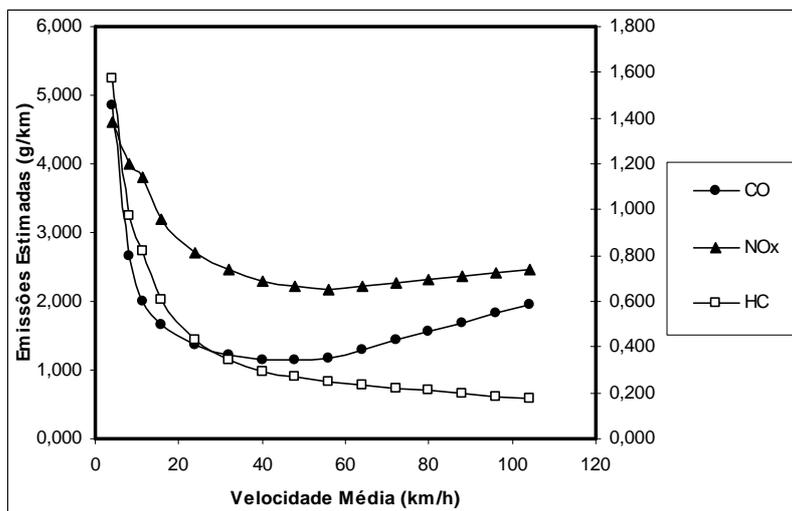


Figura 3 - Curvas de emissão geradas pela aplicação dos Fatores de Correção de Velocidade

A quantificação das emissões foi executada com a aplicação da equação 1. Na equação FE_{vm} representa o fator de emissão (g/km) para determinada velocidade média. Estes valores são retirados dos gráficos da Figura 3. O $KMVV_{total}$ é a distância total viajada pelos veículos (km) resultado do produto do fluxo de veículos e distância dos arcos. E_T é a quantidade emitida do poluente T (CO, NO_x e HC) durante o período de estudo.

$$E_T = FE_{vm} \times KMVV_{total} \tag{1}$$

4.2 Metodologia 2

A segunda metodologia é semelhante à primeira, porém as emissões são calculadas com base nas velocidades médias dos segmentos que compõem o trecho. O trecho de estudo é composto por quatro segmentos. Eles são compreendidos entre duas interseções semaforizadas. Em comparação com a primeira metodologia esta representa uma desagregação espacial da velocidade média, identificando melhor as particularidades da rede. A modelagem das emissões é semelhante ao procedimento descrito no item anterior, porém com o uso da equação 2.

$$E_T = \sum_{ar\ cos} FE_{vmarco} \times KMVV_{arco} \tag{2}$$

4.3 Metodologia 3

A modelagem das emissões na metodologia 3 é baseada na integração dos parâmetros estimados pelo modelo SATURN e com o modelo de emissões CMEM. As emissões são calculadas a partir das estimativas de velocidades e número de paradas fornecidas pelo modelo SATURN. Com isso, a abordagem para o cálculo das emissões deixa de ser estática, uma vez que o fluxo de tráfego passa a ser representado de forma mesoscópica. Isto enquadra esta metodologia em uma posição intermediária entre a abordagem tradicional (velocidade) e a microscópica (velocidades segundo a segundo). A grande vantagem desta metodologia é uma representação mais apurada do tráfego em comparação com a abordagem tradicional o que, a princípio, implica em uma precisão maior na estimativa das emissões. Outro ponto positivo é a menor demanda computacional se comparada com abordagens microscópicas.

O cálculo das emissões por arco é feito de acordo com a equação 3. Ela é função do volume de veículos, número de paradas primárias e secundárias, tempo em cruzeiro e tempo parado. Os coeficientes da equação (a, b, c, d) foram calibrados com base na metodologia usada por Jacondino e Cybis (2002) com o uso do modelo de emissão CMEM.

$$E_T = (a_T \times t_c + b_T \times t_q + c_T \times s_1 + d_T \times s_2) \times V \quad (3)$$

4.4 Metodologia 4

A metodologia 4 corresponde ao cálculo das emissões em um nível microscópico. Os veículos são representados individualmente e as suas velocidades e acelerações são calculadas segundo a segundo. As emissões também são calculadas por segundo e ao final do período de estudo, o total de emissões em um segmento corresponde ao somatório de todos os eventos. A figura 4 ilustra a metodologia aplicada para o cálculo das emissões neste caso. O DRACULA possui um módulo de emissões do tipo mapa de emissão que pode ser calibrado. Matrizes de emissão foram geradas pelo modelo CMEM para a calibração do módulo de emissão do DRACULA. Mais detalhes sobre este procedimento pode ser obtido em Barth *et al*, 2001. Uma vez tendo o seu módulo de emissão calibrado, o inventário de emissões é produzido pelo próprio DRACULA.

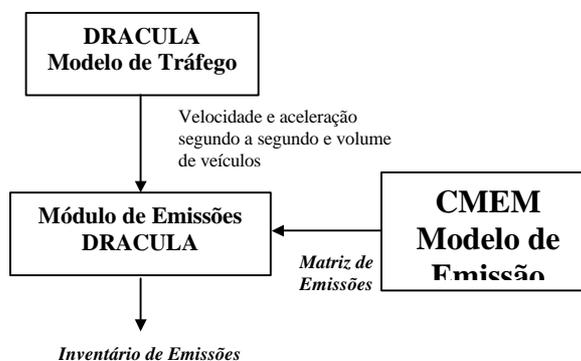


Figura 4 - Esquema para cálculo das emissões com utilização da metodologia 4

4.5 Resultados e Análises

Assume-se que a metodologia 4, em virtude de seu alto nível de desagregação das variáveis do tráfego, produz melhores resultados na estimativa das emissões. Em função disso, a metodologia quatro é usada como valor base para a comparação entre as metodologias. Os resultados estão ilustrados na figura 5. As metodologias 1 e 2 apesar da desagregação espacial das variáveis do tráfego (velocidade) apresentaram resultados semelhantes tanto em magnitude como em tendência.

Os resultados da metodologia 3 foram sempre inferiores aos de outras metodologias (80% em média). Esta variação negativa pode provavelmente ser atribuída a uma escolha errônea dos parâmetros de calibração do modelo de emissão aplicado. O uso da metodologia apresentada por Jacondino e Cybis (2002) mostrou-se inadequada neste estudo. Possivelmente a alteração da metodologia (elaboração de novos coeficientes) levaria a resultados mais apurados.

A agregação das variáveis em seu nível máximo (metodologias 1 e 2) produz estimativas de CO 10% inferiores à abordagem microscópica (metodologia 4). As emissões de CO são muito suscetíveis às acelerações, o que explica a maior estimativa da metodologia 4 que leva em conta as acelerações. Por outro lado, a agregação das variáveis levou a superestimativas de NO_x (5%) e HC (130%). Estes poluentes não possuem uma boa correlação com a velocidade média, o que indica um erro metodológico na suas estimativas com base apenas neste parâmetro.

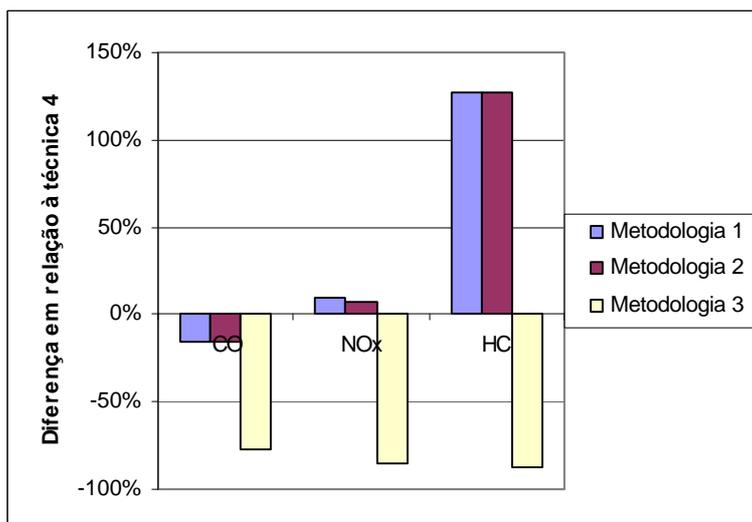


Figura 5 - Diferenças entre as metodologias em relação à metodologia 4

A figura 6 ilustra a variação das emissões quantificadas de CO, NO_x e HC para os segmentos modelados no sentido Sul-Norte da área de estudo. A metodologia 1 não considera a divisão do trecho de estudo em segmentos, portanto seus dados não são apresentados. Os resultados de todas as metodologias foram divididos por suas médias, para eliminar o efeito escala e possibilitar a inclusão da metodologia 3 na análise.

A figura 6 mostra, também, o tempo de viagem por segmento por trecho de acordo com os dados coletados em campo ou estimados pelos modelos de tráfego dependendo da metodologia. A análise da variação dos tempos de viagem em conjunto com as emissões permite identificar se as diferenças nas estimativas de poluentes são decorrentes exclusivamente das metodologias para inventários de emissão ou influência da diferença do nível da atividade do tráfego empregado para o cálculo. Por exemplo, em um cenário quantificam-se as emissões de acordo com duas metodologias. A primeira macroscópica emprega uma velocidade média de 60km/h e tem como resultado 100 g de CO. A segunda metodologia, com abordagem microscópica, apresenta uma corrente de tráfego com velocidade média de 52 km/h e 120 g de CO estimados. A diferença entre as estimativas em um primeiro momento não pode ser atribuída apenas à metodologia. Faz-se necessário verificar se a atividade do tráfego, embora em escalas distintas, é representada de forma análoga em ambas metodologias.

A metodologia na qual as estimativas de emissões são baseadas na velocidade média e a metodologia três, baseada na velocidade média e número de paradas, possuem tempos de viagens médios semelhantes para todos os segmentos. A variação das estimativas das emissões para estas duas metodologias apresentou comportamento semelhante, com exceção do segmento 4. Enquanto que na metodologia 2 as estimativas do segmento 3 foram inferiores ao segmento 4 na metodologia 3 estas estimativas foram superiores para o NO_x e HC e ligeiramente inferiores para CO. A variação do tempo de viagem da metodologia 4 é semelhante às outras metodologias. Com exceção da variação entre o tempo de viagem do segmento 3 e os segmentos adjacentes, inferior a verificada nas outras metodologias. Esta diferença é explicada pela dificuldade de calibração do modelo micro-simulação de tráfego. As emissões de CO e NO_x estimadas na metodologia 4 apresentaram comportamentos distintos, pois mantiveram-se constantes nos segmentos 2, 3 e 4.

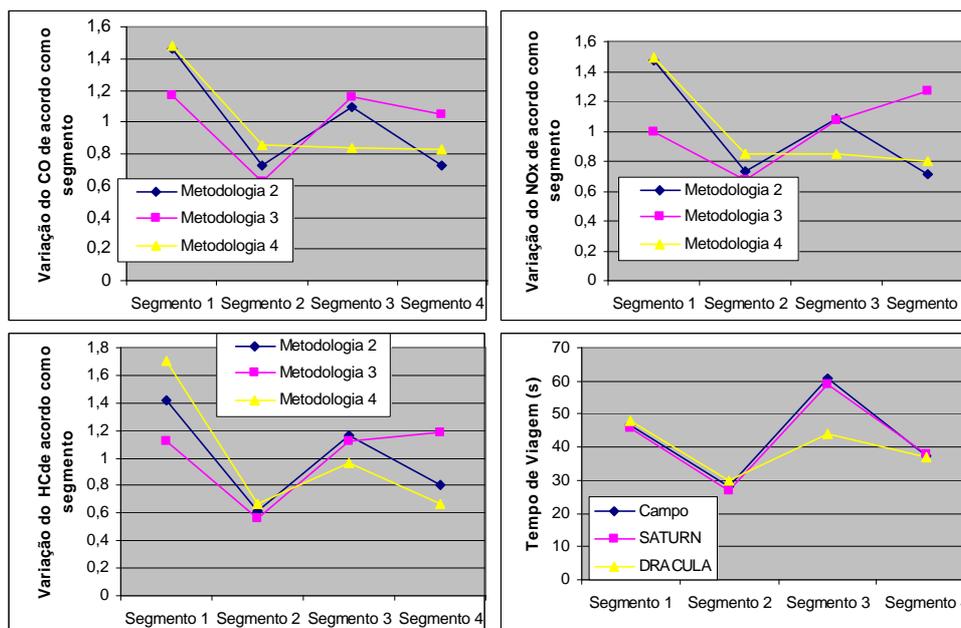


Figura 6 - Variação das estimativas de acordo com os segmentos do sentido Sul-Norte

5 Conclusões

Este artigo investigou o efeito da agregação das variáveis do tráfego na estimativa das emissões veiculares. Para isso comparou os resultados de quatro metodologias para a execução de inventários de emissões. As metodologias 1 e 2 descrevem o tráfego em função de sua velocidade médio, possuindo uma abordagem macroscópica. A metodologia 3, de abordagem mesoscópica, descreve o tráfego em função da velocidade média e o número de paradas. A metodologia 4 possui uma abordagem microscópica, descrevendo os veículos de forma individual sendo que suas velocidades e acelerações são calculadas a cada segundo.

O estudo comparou as emissões de CO, NO_x e HC quantificadas em cada uma das metodologias em uma área de estudo. A metodologia 1 utilizou curvas de emissão e dados de campo para o cálculo dos inventários de emissão. A metodologia 2 empregou o mesmo procedimento, porém os dados de campo foram desagregados espacialmente. O inventário de emissão realizado na metodologia 3 foi calculado através do uso integrado do modelo de tráfego SATURN e o modelo de emissão CMEM. Na metodologia 4 as emissões foram quantificadas com uso integrado do micro-simulador DRACULA com o modelo de emissão CMEM.

Mostrou-se que a agregação das variáveis do tráfego gera diferenças nas quantidades estimadas de CO, NO_x e HC. As variações ficaram entre 10% para CO e NO_x e 120% para o HC na análise agregada, que leva em conta todos os segmentos área de estudo. Os resultados da metodologia 3 apresentaram diferenças significativas em comparação com outras metodologias.

A discrepância entre os resultados das metodologias avaliadas não está restrita apenas ao seu enfoque diferenciado. A diferença entre os tempos de viagem é um fator contribuinte para o que a divergência entre as emissões quantificadas aumente. Este aspecto é evidenciado quando da avaliação das variações das quantidades de emissões entre os segmentos modelados. A calibração dos modelos de tráfego é importante para que esta fonte de erro seja controlada, uma vez que com modelos bem calibrados a diferença entre os suas medidas de desempenho será reduzida.

O estudo comparativo entre as diversas metodologias possibilita a compreensão das diferenças entre as quantificações das emissões decorrentes da agregação das variáveis do tráfego. A escolha da metodologia para a execução de inventário de emissões depende da natureza do estudo. Os inventários baseados na velocidade média continuam sendo a alternativa para grandes áreas, porém seus resultados são comprovadamente irreais. Inventários de emissão microscópicos, embora mais precisos, estão restritos ainda, ao estudo de pequenas áreas devido aos grandes esforços demandados na coleta de dados, na calibração dos modelos e nos recursos computacionais. As alternativas intermediárias (mesoscópicas) surgem como alternativa a estes problemas, entretanto são necessárias pesquisas que desenvolvam metodologias consistentes.

6 Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, D.; CYBIS, H. (2002). Aplicação do simulador de tráfego DRACULA em Porto Alegre – Análise comparativa com o modelo SATURN. In: *Congresso da ANPET, XXI, 2002*, Natal. Anais... Natal: ANPET, 2002b. v. I, p. 341-352.
- ARAUJO, D; JACONDINO, G.; CATEN, C.; CYBIS, H. (2004) Método de calibração de modelos de micro-simulação de tráfego através de otimização multivariada. *Aceito para publicação em Transportes*.
- BARTH, M.; AN, F.; YOUNGLOVE, T.; SCORA, G; LEVINE, M.; ROSS, M.; WENZEL, T. (2001) *Comprehensive modal emissions model (CMEM) Version 2.02*. User's guide.
- CAPIELLO (2002) *Modeling traffic flow emissions*. Msc Thesis. Massachusetts Institute of Technology. EUA.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) (1999) *Facility-specific speed correction factors*. EPA Report no. M6.SPD.002.
- FHWA (1998) *Travel Time data collect handbook*. Federal Highway Administration, EUA.
- JACONDINO, G.; CYBIS, H. (2002). Avaliação de modelos de emissão de poluentes em simuladores de tráfego. In: *Congresso da ANPET, XXI, 2002*, Natal. Anais... Natal: ANPET, 2002. v. I, p. 211-222.
- KELLY, N.; GOBLICKI, P. (1993) Real-world emissions from a modern production vehicle driven in Los Angeles. *Journal of the air and waste management association*, v. 43, p. 1351-1357.
- LIU, R. (2000). DRACULA Traffic Simulation Model – A User Guide. *Technical Note 407*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds.
- SCHULZ, D.; YOUNGLOVE, T.; BARTH, M. (2000) Statistical Analysis and Model Validation of Automobile Emissions. *Journal of Transportation Statistics*, vol. 3, no. 2, p. 29-38.
- TRB (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD) (2001) *Quantifying air-quality and other benefits and costs of transportation control measures*. National Cooperative Highway Research Program, Report 462.
- UNIÃO EUROPÉIA (2002) *EU Energy and transport in figures*. Statistical pocketbook.
- VAN VLIET, D.; HALL, M. (2000). *SATURN 10.1 – User Manual*. Leeds: Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- WBCDS (2001) *Mobility 2001 – World mobility at the end of the twentieth century and its sustainability*. Preparado para o Sustainable Mobility Working Group of the World Business Council for Sustainable Development por Massachusetts Institute of Technology –Laboratory for Energy and Environment, EUA.