

ANÁLISE DO IMPACTO NA CONCENTRAÇÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO CAUSADO PELA SUBSTITUIÇÃO DE UMA INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA POR UMA ROTATÓRIA MODERNA

Ed Pinheiro Lima

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá

Bruno Vieira Bertoncini

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos

Marcelino Luiz Gimenes

Departamento de Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá

Sergio Henrique Demarchi

Logit Engenharia Consultiva

RESUMO

Este trabalho estuda o impacto da substituição de um semáforo por uma rotatória moderna na concentração de monóxido de carbono. A estimativa é feita por meio do modelo de dispersão CAL3QHC, considerando como fontes emissoras somente veículos leves. Foram adotados parâmetros do tráfego e meteorológicos locais e os fatores de emissão foram estimados por meio do modelo de emissão CMEM. Os valores máximos observados foram comparados em 8 sentidos de vento, considerando tanto veículos em movimento quanto veículos em fila. A partir do modelo adotado, as concentrações máximas de CO com o uso da rotatória foram cerca de 50% das obtidas com o uso de interseção semaforizada. A análise dos mapas de concentração demonstrou que não só os valores máximos são maiores no caso do semáforo como também a área das curvas de concentração são mais abrangentes.

ABSTRACT

This work studies the impact of the substitution of a traffic light for a modern roundabout in carbon monoxide concentration. The estimate is made by means of the CAL3QHC dispersion model, considering only light duty vehicles as emitting sources. Local traffic and meteorological parameters had been adopted and the emission factors had been estimated using CMEM emission model. The maximum observed values in 8 different wind directions had been compared, considering both moving and idle vehicles. The adopted model showed that the maximum concentrations of CO in roundabout's scenario had been about 50% of the obtained values with the use of the traffic light. Concentration maps analysis demonstrated that not only the maximum values are bigger in the case of the traffic light, but the area of the concentration curves are larger.

1. INTRODUÇÃO

Paradas, ultrapassagens e conversões realizadas pelos veículos em vias urbanas têm grande impacto no consumo de combustível e, conseqüentemente, na emissão de monóxido de carbono. Dentre estes eventos, os mais significativos são as ocasiões em que os veículos ficam parados em funcionamento nas filas formadas à montante dos semáforos e em congestionamentos. No caso dos semáforos, o estudo realizado por Coelho *et al.* (2005) demonstrou os efeitos que variações no tempo de parada nos semáforos têm nas emissões.

Outro tipo de interseção comum no cenário urbano são as rotatórias, que também costumam causar acúmulos a montante de cada alça de entrada, porém menos significativos do que na configuração com semáforo. De fato, conforme mostra Várhelyi (2002), a substituição de uma interseção com semáforo por uma rotatória moderna resultou em uma redução de 29% nas emissões de CO e de 28% no consumo de combustível.

A utilização de semáforo ou de rotatória para controlar o trânsito em uma interseção é feita em função da capacidade da via, do espaço disponível, da hierarquia viária, do fluxo veicular

e da disponibilidade de capital por parte do setor público. Uma rotatória é um elemento de controle do tipo auto-controlado, indicado para condições de fluxo baixo ou médio, que permite a organização de diversos fluxos no espaço. Já um semáforo é indicado quando o fluxo é médio, o custo de operação é mais elevado e possibilita a organização no tempo de diversos fluxos. Em algumas situações, procura-se alterar um semáforo por uma rotatória e, em situações mais críticas, faz-se também o procedimento inverso.

Em 2004, foi realizado na cidade de Maringá um estudo do impacto da substituição de uma interseção com semáforo por uma rotatória moderna (raio interno reduzido) por meio de simulação de tráfego (Bertoncini e Demarchi, 2005). Diante do bom resultado obtido nas simulações, a substituição foi feita pela Secretaria dos Transportes de Maringá (SETRAN). Com base nos dados obtidos em Bertoncini e Demarchi (2005) para a simulação nestes dois cenários, neste trabalho é realizado um estudo comparativo da concentração de monóxido de carbono nas duas configurações de interseção por meio de um modelo de dispersão de poluentes.

O modelo adotado é o CAL3QHC (EPA, 1995), que faz estimativa da concentração de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP) originados de veículos tanto em fluxo livre quanto parados nas filas das interseções com semáforo. O modelo CAL3QHC adota o modelo de dispersão de pluma Gaussiano que, segundo Zhou e Sperling (2001), não é adequado aos padrões de dispersão das emissões veiculares próximas a edifícios muito altos. A escolha do CAL3QHC se deve ao fato de que o modelo considera a contribuição nas emissões dos veículos parados em filas formadas à montante de interseções com semáforo e pelas ruas da região estudada não constituírem *canyons* formados por edifícios muito altos, situação representada de forma inadequada pelo modelo Gaussiano. O item 2 aborda uma breve descrição do modelo CAL3QHC. No item 3, é mostrada a aplicação do modelo e a obtenção dos dados necessários. No item 4, são apresentados os resultados obtidos e, por fim, no item 5, as considerações finais.

2. MODELO DE DISPERSÃO CAL3QHC

Modelos de dispersão destacam-se em aplicações de análise entre cenários, como, por exemplo, a verificação de que novas indústrias estarão de acordo com os padrões de qualidade do ar e no planejamento de estratégias de controle efetivas para reduzir as emissões de poluentes nocivos. O CAL3QHC (EPA, 1995) é um modelo de dispersão de fonte linear que faz a estimativa da concentração de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP) originados da combustão nos motores dos veículos. O modelo permite a estimativa para veículos em duas situações de tráfego: em movimento e em filas formadas em interseções com semáforo. Para estimar a dispersão, o CAL3QHC incorpora o modelo de dispersão CALINE3 e um algoritmo que faz a estimativa de comprimento de fila. Este algoritmo consiste em um modelo de tráfego baseado no Highway Capacity Manual (HCM) de 1985 (FHWA, 2006) e usa as informações do tráfego de duração do ciclo, fluxo de saturação, fluxo de veículos e do tipo de aproximação à montante da interseção, para estimar o comprimento do arco representativo de cada fila. Em cada arco representativo, são estimadas as emissões dos veículos parados em fila que são então convertidas em fontes lineares no formato de arco do CALINE3.

O modelo CALINE3 faz a caracterização da dispersão de poluentes sobre uma via empregando o conceito de zona de mistura, que consiste na região sobre as pistas de rolamento adicionada de três metros em cada lado. Esta largura adicional tem relação com a

dispersão de pluma horizontal inicial induzida pelo efeito da passagem do veículo. Outra característica do modelo é a consideração de que as variáveis meteorológicas, de estabilidade atmosférica, da velocidade e direção do vento são constantes dentro da área estudada, assim como o comprimento da rugosidade da superfície, que é assumido como sendo relativamente uniforme.

3. METODOLOGIA ADOTADA

As redes simuladas são constituídas por dois cenários representativos das situações antes e depois da implantação da rotatória. A substituição foi realizada na interseção das avenidas Cerro Azul e Juscelino Kubitschek de Oliveira na cidade de Maringá, Paraná. Conforme Bertoncini e Demarchi (2005), o semáforo substituído apresentava desempenho operacional insatisfatório em virtude do fluxo de tráfego no local, resultando na formação de longas filas e de elevados tempos de espera para os motoristas. A Figura 1 mostra as situações antes e depois da implantação da rotatória.

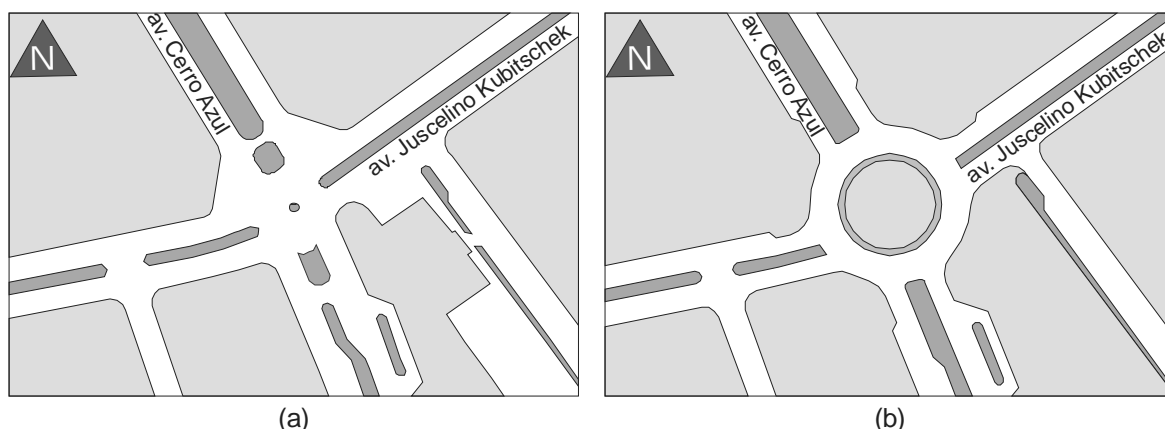


Figura 1: Situação (a) antes e (b) depois da implantação da rotatória

fonte: adaptada de Bertoncini e Demarchi (2005)

A caracterização das redes simuladas foi feita por meio dos dados referentes à geometria de cada rede e dos parâmetros do comprimento da rugosidade da superfície, dos receptores e da concentração ambiente de CO, descritos no item 3.1. A estimativa das emissões em cada receptor é feita pelo modelo CAL3QHC ao somar as contribuições dos veículos em movimento e em fila em cada arco da rede. Para isto, em cada arco é associada uma fonte linear com base no produto do fluxo de veículos pelo fator médio de emissão. Este fluxo de veículos e os parâmetros necessários do modelo para a estimativa de comprimento de fila e dos fatores de emissão são descritos no item 3.2. O fator médio de emissão deve ser determinado para veículos em movimento e para veículos parados em fila, mostrado no item 3.3. As condições meteorológicas para o ano de 2004 foram obtidas com base nos parâmetros meteorológicos da região, apresentados no item 3.4.

3.1. Redes simuladas

A representação da geometria de cada rede é feita a partir das coordenadas dos nós dos arcos de fila e de fluxo livre. Estas coordenadas foram obtidas usando uma base de dados em CAD fornecida pela Secretaria dos Transportes de Maringá (SETRAN). Para os arcos de fluxo livre, as coordenadas geométricas dos nós foram medidas no ponto central de cada interseção e nos pontos inicial e final de cada via da rede, conforme mostra a Figura 2.

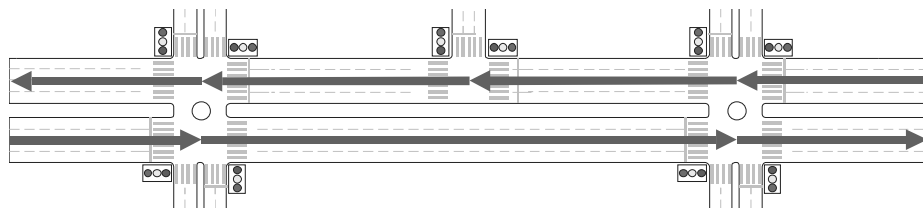


Figura 2: Arcos de fluxo livre

No caso dos arcos de fila, a coordenada do ponto inicial se localiza na linha de retenção do segmento viário representativo de cada arco. A coordenada do ponto final é arbitrária, desde que localizada sobre o respectivo arco de fluxo livre (Figura 3). O comprimento real do arco é estimado pelo algoritmo de estimativa de comprimento de fila do CAL3QHC, considerando a distância entre veículos de 6 metros (EPA, 1995), um valor próximo ao valor médio de 6,06 m determinado para Maringá por Demarchi *et al.* (2003).

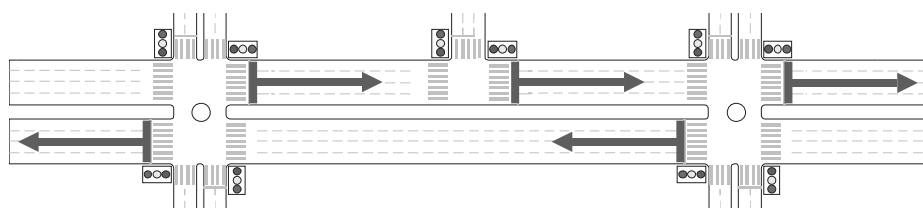


Figura 3: Arcos de fila

Para a determinação da largura de cada arco, foi adotado o valor de 3,20 m para cada faixa de rolamento. A largura do arco de fluxo livre consiste na soma das larguras das faixas de rolamento adicionados três metros de cada lado – relativos ao efeito da passagem dos veículos na dispersão. A largura dos arcos de fila consiste somente na soma das larguras das faixas de rolamento, já que não há o efeito da passagem dos veículos. A altura dos arcos foi considerada constante em função da região analisada não apresentar desníveis significativos.

O comprimento da rugosidade da superfície representa a altura em que a velocidade do vento horizontal média se aproxima de zero e se relaciona com as características do terreno. O valor adotado foi de 400 cm, correspondente à opção *central business district* do modelo CAL3QHC. Os receptores são pontos onde a concentração de CO é estimada pelo modelo. Foi adotado um *grid* de receptores com dimensões de 25x25 (625 no total) para os dois cenários. Estes receptores foram localizados a 1,80 m de altura. A Figura 4 mostra as duas redes com os arcos de fila e fluxo livre e o *grid* de receptores adotado.

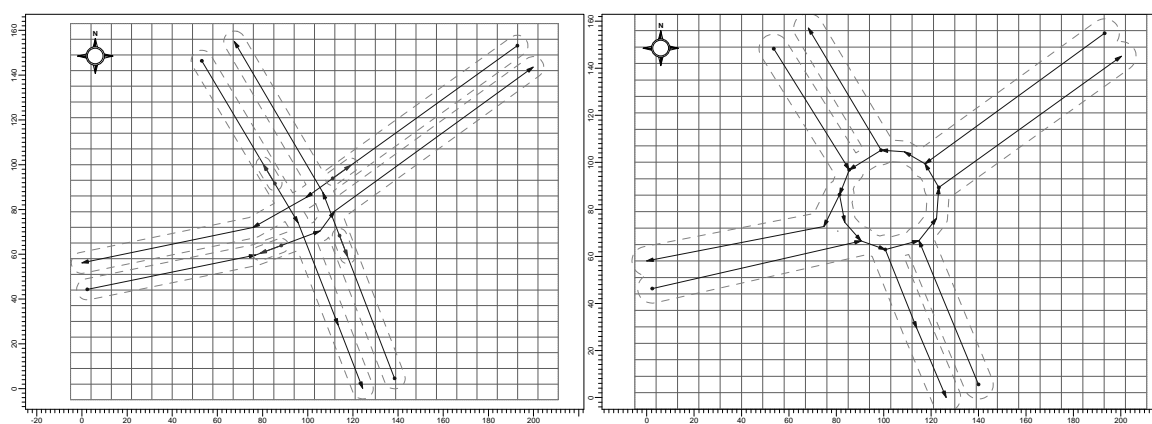


Figura 4: Redes com arcos representativos de cada cenário

O modelo CAL3QHC permite o uso de dados sobre a concentração ambiente de cada poluente, ou seja, a concentração do local no início da simulação. Como não estão disponíveis estudos sobre a concentração ambiente de CO para a área de estudo, esta será adotada como nula, de forma que toda concentração de CO estimada é resultado das emissões dos veículos que transitam na rede estudada durante o período simulado.

3.2. Parâmetros do tráfego local

Os parâmetros do tráfego necessários para o CAL3QHC compreendem os fluxos de tráfego, o fluxo de saturação, a velocidade de fluxo livre, o tempo de ciclo do semáforo e o tipo de aproximação dos veículos nas filas dos semáforos. Os valores de fluxo de tráfego para cada arco foram adotados de Bertoni e Demarchi (2005), onde os fluxos foram obtidos por meio de filmagem realizada no dia 29/07/2004 no horário de pico da tarde (17:30 à 18:30). Os valores do fluxo de veículos em cada arco nestes 40 minutos foram convertidos para o período de 1 hora.

O valor do fluxo de saturação adotado foi de 2115 cpe/h/faixa (Colella *et al.*, 2005) usado em Bertoni e Demarchi (2005). Para a velocidade de fluxo livre, foram adotados dois valores, um para os veículos nos arcos da rotatória e outro para os demais. Essa diferenciação segue os procedimentos adotados em Bertoni e Demarchi (2005), onde o valor inicial de 58 km/h de Colella *et al.* (2005) foi reduzido, gradativamente, até que o comportamento dos veículos no simulador de tráfego *Integration* fosse similar ao observado nas filmagens, chegando ao valor final de 40 km/h.

As informações do tempo de ciclo do semáforo correspondem à situação em que o tráfego foi medido por Bertoni e Demarchi (2005). Para o horário de estudo, a duração do ciclo é de 101 segundos, sendo a sequência de duração de verde de cada fase da seguinte forma:

- Fase 1: 32 s de verde e 3 s de amarelo;
- Fase 2: 30 s de verde e 3 s de amarelo; e
- Fase 3: 30 s de verde e 3 s de amarelo.

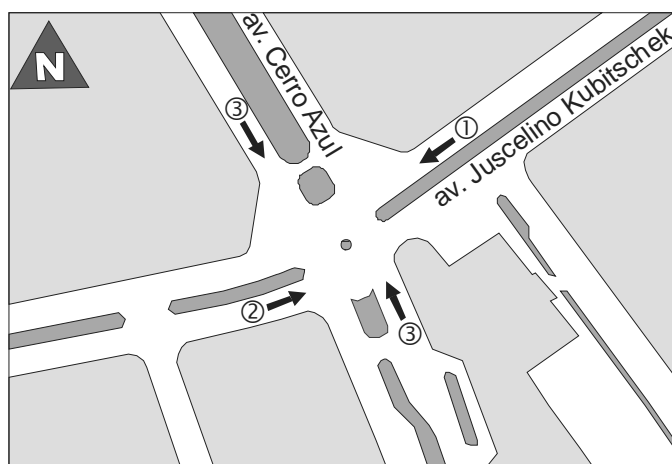


Figura 5: Fases do ciclo semafórico

Como não há estudo disponível para a cidade que caracterize o tipo de aproximação dos veículos nos semáforos, o tipo de aproximação adotado foi o de progressão média, o que corresponde a uma aproximação aleatória na classificação do HCM de 1985 (EPA, 1995).

3.3. Fatores de emissão

O CAL3QHC necessita dos fatores de emissão para um veículo composto da frota na velocidade de fluxo livre e parado em funcionamento. Em EPA (1995) é recomendado que estes fatores de emissão sejam estimados usando a versão mais recente do modelo de fator de emissão da EPA americana. Este procedimento, contudo, implica em fatores de emissão que não refletem as emissões dos veículos brasileiros em função das diferenças entre as tecnologias dos motores, a manutenção dos veículos e os combustíveis utilizados.

A base de dados de fatores de emissão para veículos brasileiros se restringe a fatores médios, como os do relatório anual para veículos novos da CETESB (2006). Em (EPA, 1995) é sugerido que o fator de emissão do veículo composto seja determinado para a velocidade de fluxo livre da região analisada, que tende a ser significativamente superior ao valor da velocidade média do ciclo FTP em que os fatores de emissão da CETESB são determinados. De fato, a velocidade do veículo tem impacto significativo nas emissões de CO e CO₂, como pode ser visto em André e Hammarström (2000). Além disso, deve ser observado que para a determinação do fator de emissão dos veículos parados em fila é necessário um fator de emissão para o veículo neste modo de funcionamento do motor.

Assim, para obter fatores de emissão na velocidade de fluxo livre representativos da frota local, adotou-se o modelo de emissão modal CMEM (Barth *et al.*, 2000) com a adaptação à frota local feita por Lima (2007). Para os veículos parados em fila, o fator de emissão obtido no CMEM foi 90,10 g/hora/veic. No caso do fator de emissão do veículo em velocidade de fluxo livre, para os veículos fora da rotatória, o valor do fator de emissão foi de 8,39 g/km e, para os veículos na rotatória, o valor foi de 10,91 g/km.

3.4. Parâmetros meteorológicos

Os parâmetros meteorológicos compreendem o sentido e a velocidade do vento, a classe de estabilidade e a altura de mistura. Os dados sobre a direção e a velocidade do vento para a cidade de Maringá no ano de 2004 foram obtidos junto ao SIMEPAR. Estes dados foram compilados no formato *Source Met Data* (SAMSON) para serem importados no programa WRPLOT View. Por meio deste, os dados foram agrupados em classes compatíveis com as classes de vento de Pasquill e então analisados para o horário das 17 às 18 horas (Tabela 1), correspondente ao horário em que os valores de fluxo de tráfego foram obtidos por Bertoncini e Demarchi (2005).

Tabela 1: Classes de vento predominantes para o horário analisado no ano de 2004

Sentido	Classes de vento – 17 às 18 horas					Total
	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-6,0	>=6,0	
N-S	5,75%	3,97%	4,52%	0,27%	0,41%	14,93%
NE-SO	6,03%	6,16%	3,42%	0,55%	0,27%	16,43%
L-O	4,11%	3,70%	3,97%	0,55%	0,27%	12,60%
SE-NO	4,11%	4,11%	3,29%	0,55%	0,27%	12,33%
S-N	5,07%	4,79%	3,29%	0,96%	0,41%	14,52%
SO-NE	2,60%	4,66%	2,19%	0,41%	0,00%	9,86%
O-L	2,19%	3,01%	1,78%	0,27%	0,00%	7,26%
NO-SE	3,01%	3,42%	3,56%	0,27%	0,27%	10,55%
Subtotal	32,88%	33,84%	26,03%	3,84%	1,92%	98,36%
Calmaria						1,64%

O CAL3QHC adota as classes de estabilidade de Pasquill-Gifford mostradas na Tabela 2 para caracterizar a turbulência as propriedades dispersivas da atmosfera. A determinação da classe

de estabilidade depende da velocidade do vento e da radiação solar durante o dia ou a fração de cobertura de nuvens durante a noite. Neste trabalho, foi adotada a velocidade do vento como sendo 1 m/s e tempo nublado, correspondente à situação mais desfavorável para o período diurno. Estas condições, de acordo com a Tabela 2, correspondem à classe de estabilidade D, neutra.

Tabela 2: Classes de estabilidade de Pasquill-Gifford

Vento superficial (10m)	Insolação durante o dia			Nebulosidade durante a noite	
	Forte	Moderado	Leve	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A: Extremamente instável

B: Moderadamente instável

C: Levemente instável

D: Neutra

E: Levemente estável

F: Moderadamente estável

Nota: A condição neutra D deve ser selecionada em dias e noites nublados

A altura de mistura compreende espessura da camada turbulenta adjacente ao solo e é um parâmetro chave para modelos de poluição do ar pois determina o volume disponível para a dispersão de poluentes. A altura da CLP varia com fatores como o tempo, a localização geográfica e o ciclo diário de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre. De acordo com Seibert *et al.* (2000), a altura de mistura não é medida por meio de práticas meteorológicas comuns, sendo geralmente um parâmetro não disponível, obtido por métodos práticos cuja definição e estimativa não são simples. Como não existem, até o momento, estudos para a cidade de Maringá sobre a altura de mistura e o modelo CAL3QHC apresenta somente uma sensibilidade considerável para valores de altura de mistura inferiores a 100 metros (EPA, 1995), será adotado o valor de 1.000 metros sugerido pelo manual do CAL3QHC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de CO foi estimada para os dois cenários, semáforo e rotatória. Em ambos os cenários, foram realizadas simulações para cada sentido de vento, correspondentes aos pontos cardeais e colaterais. No cenário com semáforo, três simulações foram realizadas para cada sentido de vento, a primeira considerando somente os arcos de fluxo livre, correspondentes às emissões de veículos em movimento, a segunda considerando somente os arcos de fila, correspondentes as emissões de veículos parados nas filas e a terceira considerando os arcos de fluxo livre e de fila. No cenário da rotatória, foram realizadas duas simulações para cada sentido de vento, a primeira considerando somente os arcos da rotatória e a outra considerando todos os arcos do cenário. Os valores de concentração de pico obtidos em cada uma das 40 simulações podem ser vistos na Figura 6.

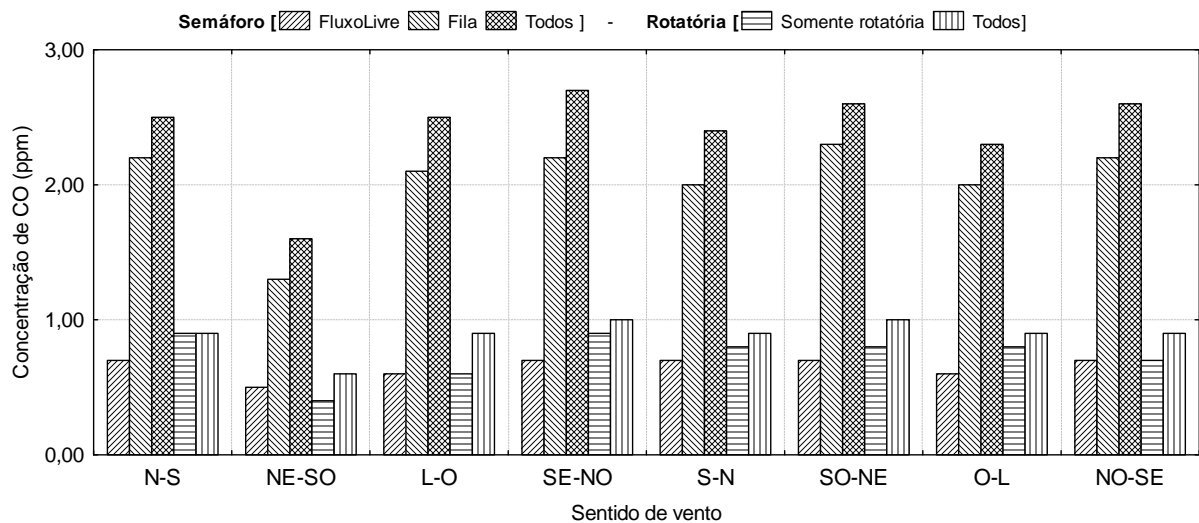


Figura 6: Concentração máxima de CO – 60 minutos de simulação

Pode-se notar que o sentido de vento não teve influência significativa nos valores de pico nos dois cenários, provavelmente devido a esta análise ter sido feita considerando uma interseção isolada. Comparando os valores de concentração de pico entre cenários, observa-se que os valores máximos obtidos no cenário da rotatória considerando todos os arcos são pouco superiores aos valores obtidos considerando somente arcos de fluxo livre no cenário do semáforo. No caso dos arcos de fila e de todos os arcos do cenário do semáforo, estas chegam a ser perto de duas e três vezes aos valores obtidos no cenário da rotatória, respectivamente.

A análise das concentrações devido aos veículos em fila e em movimento no cenário do semáforo demonstra a grande participação dos veículos parados nas filas dos semáforos no valor total. Além disso, os menores valores de concentração para os veículos em movimento nos dois cenários se devem também ao efeito de passagem do veículo, que causa uma turbulência mecânica, favorável à dispersão. Esse mesmo efeito da passagem dos veículos é o que provavelmente faz com que as concentrações de CO provenientes dos veículos em fila e em movimento sejam menores que a soma das concentrações individuais para veículos em movimento e em fila.

Foram traçados mapas de concentração de CO para o sentido de vento Sudeste-Noroeste, que apresentou os maiores valores de pico de concentração nos dois cenários, como visto na Figura 6. As Figuras 7 e 8 correspondem aos mapas de concentração de CO considerando todos os arcos dos cenários do semáforo e da rotatória, respectivamente. Apesar do sentido do vento não influenciar de forma significativa os valores de pico, teve clara influência na posição da pluma, acompanhando o sentido do vento. Comparando os cenários, nota-se que a concentração estimada no caso do cenário do semáforo foi superior a 2,00 ppm em algumas regiões, algo que não se observa no cenário da rotatória. Estas regiões correspondem à localização das filas formadas à montante do semáforo. Algo que também se pode notar é como as emissões nestas filas têm influência nas concentrações nas regiões adjacentes, fazendo com que as áreas das concentrações sejam muito maiores no cenário do semáforo.

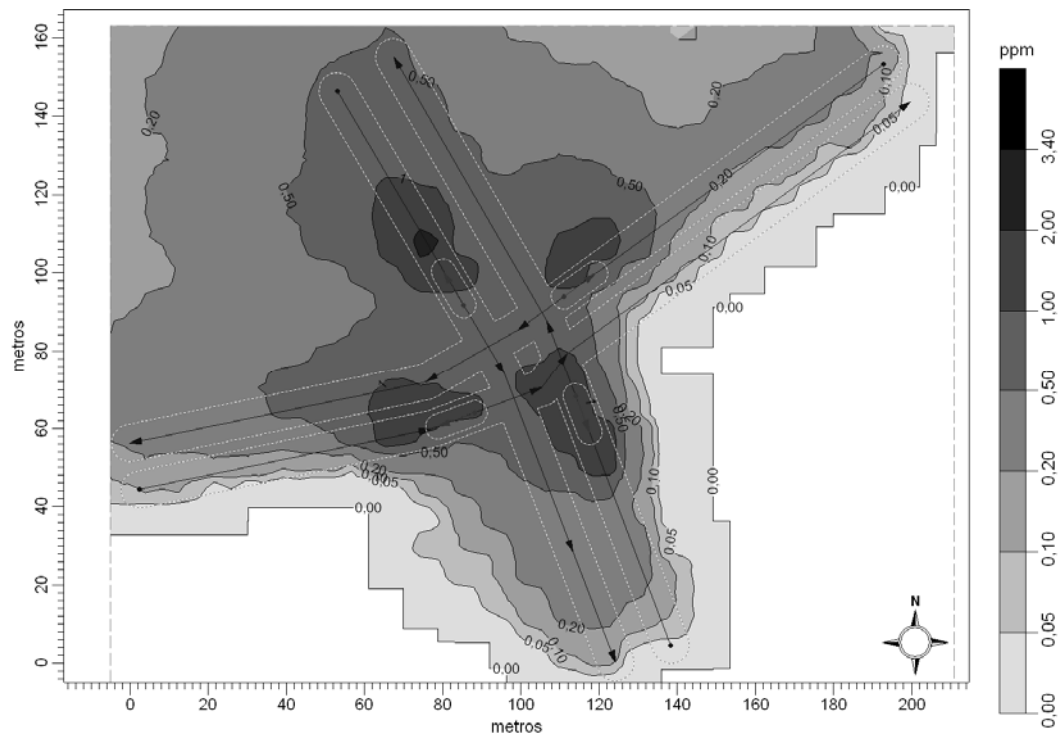


Figura 7: Semáforo – Mapa de concentração de CO

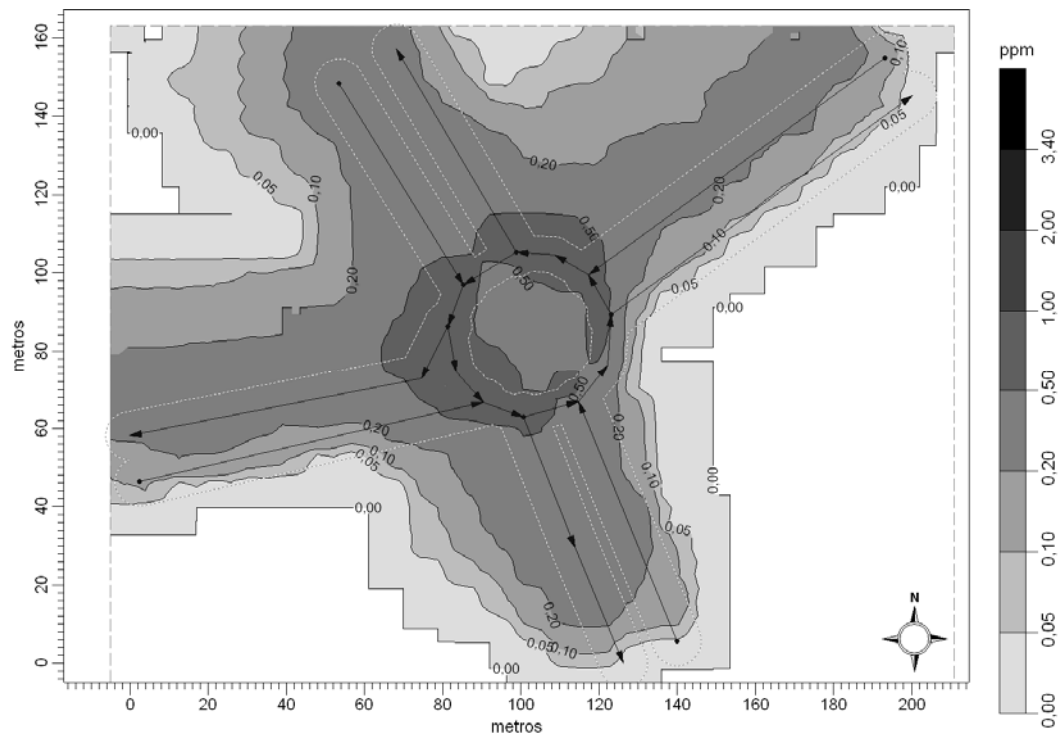


Figura 8: Rotatória – Mapa de concentração de CO

Outra análise que pode ser feita por meio dos mapas de concentração é a contribuição dos arcos de fila do semáforo e os arcos da rotatória na concentração de CO. Para isto, foram traçados mapas de concentração considerando somente os arcos de fila no cenário do semáforo (Figura 9) e os arcos de fluxo livre pertencentes à rotatória do outro cenário (Figura 10).

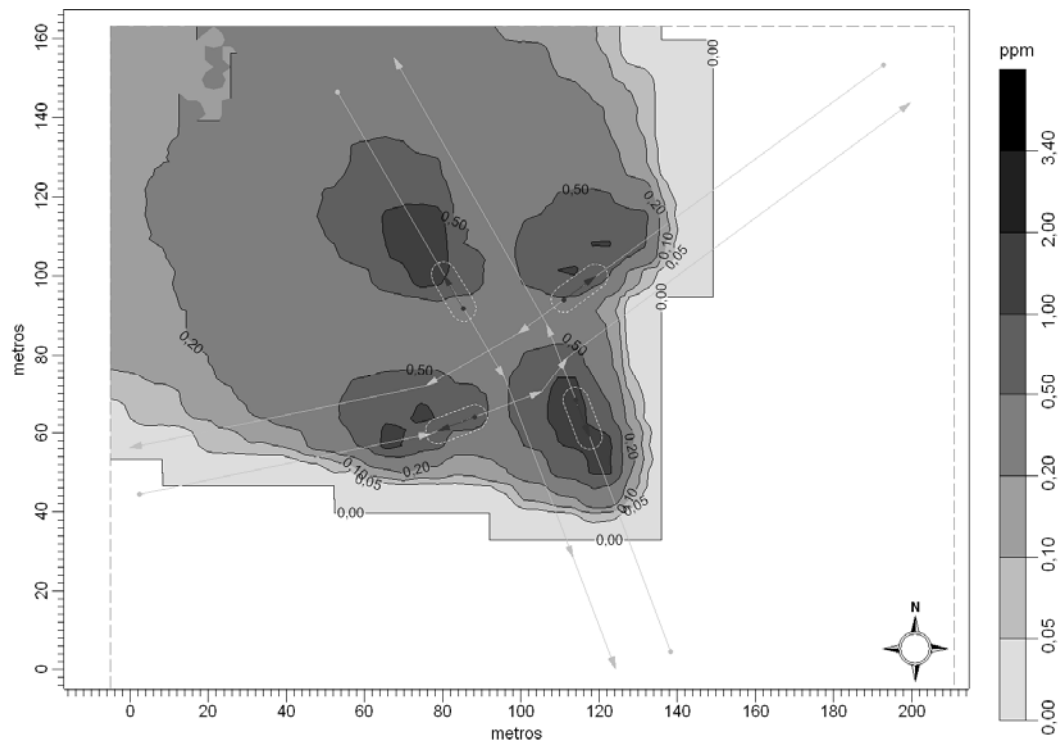


Figura 9: Semáforo – Mapa de concentração de CO – arcos de fila

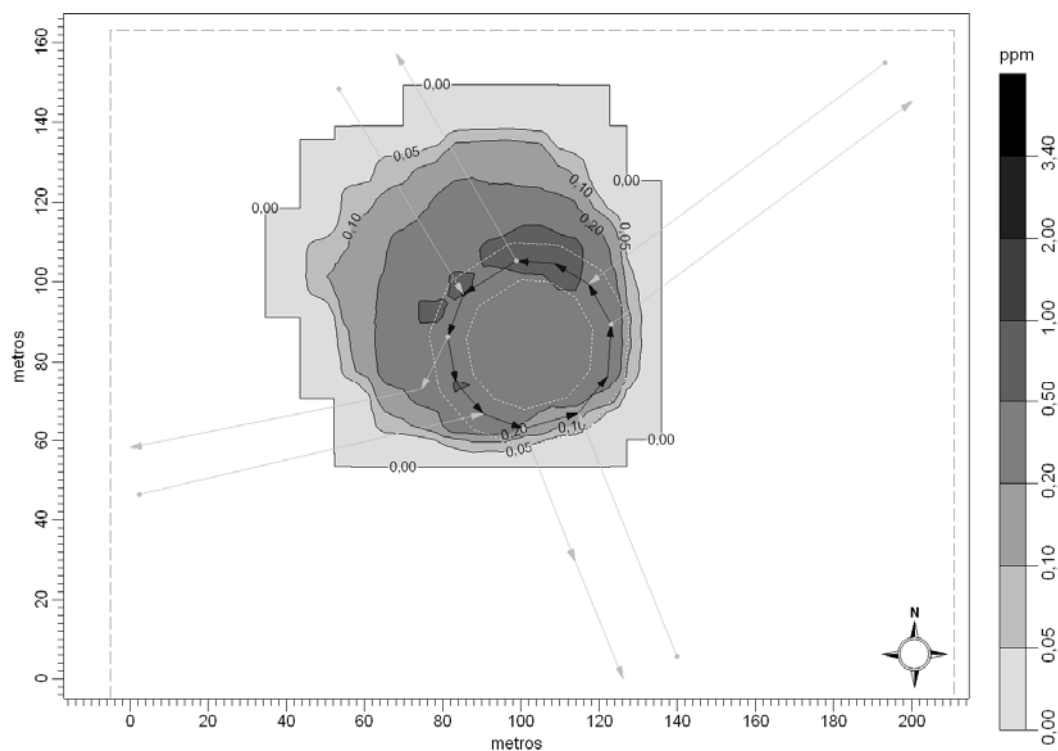


Figura 10: Rotatória – Mapa de concentração de CO – arcos de fluxo livre da rotatória

Comparando os dois mapas, fica clara a influência das emissões dos veículos em fila, tendo uma área de abrangência muito superior à da rotatória, restrita às regiões próximas dos arcos de fluxo livre. Esta comparação demonstra o impacto na redução da concentração de CO ao se substituir um semáforo por uma rotatória, ou seja, a redução no tempo em que os veículos estão parados em fila.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou o impacto da substituição de uma interseção semaforizada por uma rotatória moderna na concentração de CO devido à emissão de veículos leves por meio do modelo de dispersão CAL3QHC através da interface CalRoads View. Em relação aos picos de concentração obtidos, observou-se que o sentido de vento não apresentou influência significativa, provavelmente devido a esta ser uma análise isolada de uma interseção. No entanto, os mapas de concentração demonstraram que o efeito do vento na localização da pluma é significativo. Na comparação entre cenários, ficou evidente a menor concentração nas emissões no cenário da rotatória, sendo que as emissões neste cenário ficaram muito próximas à concentração devido aos veículos em movimento do cenário do semáforo.

Os mapas de concentração de CO permitiram visualizar o impacto dos veículos parados em fila na região da interseção do cenário do semáforo, demonstrando a importância da consideração deste modo de operação nas análises da emissão proveniente do tráfego urbano. Isto também demonstra a eficiência das rotatórias na redução das emissões de CO e, conseqüentemente, na concentração deste poluente.

O modelo de dispersão CAL3QHC se mostrou adequado à análise realizada em função da disponibilidade de dados dos fatores de emissão de CO e, principalmente, dos parâmetros do tráfego da cidade. Entretanto, para uma melhor estimativa, seriam necessárias ainda algumas adaptações. Os fatores de emissão foram estimados por meio de um modelo de emissão modal adaptado à frota local. Como os fatores de emissão influenciam de forma significativa no resultado final, a determinação de fatores de emissão de um número representativo de veículos da frota da cidade, nos dois modos de operação necessários, permitiria uma proximidade maior ao cenário real.

Outra consideração é em relação ao comprimento de fila. Apesar do valor do espaçamento entre veículos para Maringá ser muito próximo ao adotado pelo modelo CAL3QHC, uma análise do algoritmo de estimativa de comprimento da fila permitiria validar o comprimento estimado pelo modelo. Por fim, o uso de um modelo de dispersão necessita da validação por meio de amostragem e um estudo para a cidade permitiria realizar esta validação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsas de doutorado e de produtividade, à SETRAN e à Lakes Environmental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, M. e Hammarström, U. (2000) *Driving speeds in Europe for Pollutant Emissions Estimation*. Transportation Research Part D, v. 5, p. 321-335.
- Barth, M.; An, F.; Younglove, T.; Scora, G.; Levine, C.; Ross, M. e Wenzel, T. (2000) *Comprehensive Modal Emission Model (CMEM), Version 2.0 User's Guide*. University of California, Riverside.
- Benson, P.E. (1979) *CALINE3 - a versatile dispersion model for predicting air pollutant levels near highways and arterial streets*. FHWA-CA-TL-79-23, California Department of Transportation, Sacramento, CA.
- Bertoncini, B. V.; Demarchi, S. H. (2005) *Impactos nas Medidas de Desempenho Operacional Devido à Substituição de Interseção Semaforizada por Rotatória* In: Anais Eletrônico do XIX ANPET: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, Recife, Pernambuco.
- CETESB (2006) *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2005*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.
- Coelho, M. C.; Farias, T. L.; Roupail, N. M. (2005) *Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions*. Transportation Research Part D, v. 10, p. 323-340.
- Colella, D. A. T.; Lima, E. P. e Demarchi, S. H. (2005) *Calibração e Validação do Modelo Fluxo-Velocidade do Integration para Vias Urbanas Semaforizadas*. In: Transporte em Transformação IX, Confederação Nacional do Transporte; Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. (Org.), Brasília, DF:

- LGE: 2005, p.101-121.
- Demarchi, S. H.; Colella, D. A. e Bertoncini, B. V. (2003) *Determinação da Densidade de Congestionamento em Filas de Interseções SemafORIZADAS*. In: XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, RJ. Anais do XVII ANPET. Rio de Janeiro, RJ: Lagoa, 2003. v. 1, p. 476-488.
- EPA (1995) *CAL3QHC Version 2.0. A Modeling Methodology for Predicting Pollutant Concentrations near Roadway Intersections*. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC.
- FHWA (2006) *Transportation Conformity Reference Guide – Section F – Chapter 14*, Federal Highway Administration. Disponível em http://www.fhwa.dot.gov/environment/conformity/ref_guid/chap14.htm. Acesso em 16/jun/2006.
- Lima, E. P. (2007) *Análise da Emissão de Poluentes Automotivos na Cidade de Maringá*. Tese de doutorado, DEQ/UEM, Maringá, Paraná.
- Seibert, P. Beyrich, F.; Gryning, S.; Joffre, S.; Rasmussen, A. e Tercier, P. (2000) *Review and Intercomparison of Operational Methods for the Determination of the Mixing Height*. *Atm. Env.*, v. 34, p. 1001–1027.
- Várhelyi, A. (2002) *The effects of small roundabouts on emissions and fuel consumption: a case study* Transportation Research Part D. v. 7, p. 65-71.
- Zhou, H. e Sperling, D. (2001) *Traffic Emission Pollution Sampling and Analysis on Urban Streets with High-Rising Buildings*. Transportation Research Part D, v. 6, p. 269-281.

Endereço dos autores:

Universidade Estadual de Maringá – UEM
Av. Colombo, 5790
Maringá, Paraná, Brasil
e-mail: ed_p_lima@yahoo.com.br; marcelino@deq.uem.br

Escola de Engenharia de São Carlos – USP
Departamento de Transportes
Av. Trabalhador São-carlense, 400
São Carlos, São Paulo, Brasil
e-mail: bruviber@gmail.com

LOGIT Engenharia Consultiva Ltda
Av. Eusébio Matoso, 690 – 6º andar
São Paulo, São Paulo, Brasil
e-mail: sergio@logitconsultoria.com.br