

Análise estatística da concentração de monóxido de carbono na Região Metropolitana de São Paulo e relação com políticas públicas de gestão da qualidade do ar

Luana Antunes de Souza¹; Flávia Noronha Dutra Ribeiro²

1-Aluna do 4º ano do Curso Gestão Ambiental – Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) – Universidade de São Paulo (USP) - luana2422@hotmail.com 2-Docente do Curso de Gestão Ambiental – Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) – Universidade de São Paulo (USP) - flaviaribeiro@usp.br

INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento e urbanização nas cidades do Brasil mostrou que o crescimento acelerado e sem planejamento eficaz altera as características do meio ambiente, e leva ao aumento dos problemas de saúde da população que nas cidades vive (GOUVEIA, 2006). Uma dessas alterações se dá na qualidade do ar de cidades como São Paulo que, mesmo hoje, sofrem com os efeitos negativos da poluição atmosférica.

Se no passado o setor industrial possuía a maior relevância para emissões de poluentes, atualmente, segundo Gouveia (2006), há uma substituição que vem ocorrendo nos grandes centros urbanos: o aumento da frota veicular ocupando o lugar das indústrias como principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos. O tráfego de veículos na cidade de São Paulo é o principal responsável pela emissão de monóxido de carbono na RMSP. A Organização Mundial da Saúde (OMS) chama a atenção para o fato de que a poluição atmosférica põe em risco a saúde ambiental, causando aproximadamente 2 milhões de mortes prematuras no mundo por ano (WHO, 2010).

Diante da gravidade desses problemas, uma série de medidas vêm sendo aplicadas com a finalidade de reduzir os riscos associados à poluição do ar. Após a década de 70, o Brasil avançou em políticas de controle de emissão de poluição atmosférica. Segundo Vitte (2003), as políticas públicas ambientais fazem parte de uma importante categoria de ações para a qualidade de vida nas cidades, incluindo aquelas ligadas ao gerenciamento da qualidade do ar. Há uma gama de políticas ambientais que pretendem gerenciar a qualidade do ar e diminuir os riscos ligados à exposição aos diferentes poluentes. Mas surge a pergunta: quão eficazes são essas políticas?

Este artigo tem como objetivo estudar o comportamento da distribuição espacial e evolução temporal da concentração do monóxido de carbono (CO) na RMSP entre 1996 e 2009 e analisá-lo em relação com as políticas públicas da gestão da qualidade do ar voltadas para a emissão veicular que entraram em vigor nesse período.

METODOLOGIA

Em primeiro lugar, foram selecionadas as principais políticas públicas que impactam as emissões de monóxido de carbono, em especial o PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores). Esse programa foi escolhido por objetivar os

veículos leves automotores, principais emissores de monóxido de carbono. Em seguida, os dados de concentração de monóxido de carbono das estações da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) na RMSP no período de 1996 a 2009 foram analisados. As estações registram médias horárias e, a partir desses dados, foram calculadas médias mensais para cada ano da série. Então, foram produzidos gráficos da concentração média mensal em relação ao tempo, resultando na evolução temporal do monóxido de carbono na estação. Com a intenção de analisar se havia tendência de crescimento ou decréscimo da concentração com o tempo, foram traçadas as retas de regressão linear e calculados os coeficientes de correlação, de determinação e angular, além da média da concentração no período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Políticas públicas: Na esfera federal, a primeira proposta do estabelecimento de um programa qualidade do ar se deu através da portaria nº 231/76, com a finalidade de orientar a criação dos planos nacionais e regionais da qualidade do ar. Resultado dos primeiros esforços em relação ao tema, em 1989 é instituído o PRONAR (Programa Nacional da Qualidade do Ar), por meio da Resolução CONAMA 005/89, incorporando o PROCONVE, que já havia sido criado pela Resolução CONAMA 018/86. Este último se mostrou altamente relevante, uma vez que visava a redução gradual da emissão de poluentes de novos veículos automotores que passassem a ser comercializados no Brasil, envolvendo a participação de órgãos públicos, de agentes do setor econômico e, tempos depois, dos fabricantes de combustível (VASQUES, 2009).

Destaca-se o papel do estado de São Paulo que, desde as décadas de 70 e 80, mantinha programas de controle de emissões, apoiados principalmente pela CETESB. A Resolução CONAMA 418/2009 foi relevante ao estabelecer as diretrizes para a implantação dos programas estaduais e municipais de inspeção e manutenção veicular (I/M), atendendo a previsão estabelecida no PROCONVE (OLMO, 2010).

A estrutura do programa pode ser entendida em fases sucessivas, nas quais são estabelecidos limites de emissão de poluentes, cada vez mais restritivos, para veículos leves e pesados. As fases do programa são acompanhadas por objetivos que possam gradualmente diminuir a concentração de poluentes, descritas a seguir:

ESTRATÉGIA DE IMPLANTAÇÃO DO PROCONVE		
VEÍCULOS LEVES		
FASE	PERÍODO	IMPORTÂNCIA
L1	1988-1991	Proibição dos modelos de veículos mais poluentes e concepção dos primeiros modelos mais limpos. Inovações tecnológicas nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de NOx; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.

L2	1992-1996	O investimento massivo nessa fase consiste na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica, a partir dos limites fixados pela Resolução CONAMA 18/96. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos.
L3	1997-2004	A definição de limites mais restritivos de emissão de poluentes, relativamente comparada as outras fases, ocorreu a partir da Resolução CONAMA 15/97. O fabricante/importador nesta fase se utiliza das melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio.
L4	2005-2008	Guiada pelas referências da Resolução CONAMA 315/02 é dada prioridade a redução dos poluentes HC e NOx. As inovações que ocorrem estão ligadas a otimização da geometria da câmara de combustão e bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.
L5	2009-2013	Com os limites da emissão da Resolução CONAMA 315/2002 é dada prioridade a redução das emissões de HC e NO e com as mesmas inovações tecnológicas da fase L4. Houve a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não-metano para veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para emissões de NOx para veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente.

Tabela 1- Estratégia de implementação PROCONVE e PROMOT. *Fonte: PROCONVE- Ministério do Meio Ambiente, 2012.*

Durante o estabelecimento das fases, o programa priorizou os veículos leves. Posteriormente, a Resolução CONAMA 403/08 permitiu o estabelecimento de limites de emissão de poluentes mais restritivos para veículos pesados. Usualmente os veículos leves utilizam a gasolina como combustível; já nos veículos pesados o diesel é o mais comum. Somente após a década de 70, o álcool passa a ter importância comercial como combustível, frente à crise do petróleo. Em 1975, o PRÓALCOOL (Programa Nacional do Álcool) foi instituído e, posteriormente, aliou-se ao avanço da tecnologia flex-fuel nos veículos.

Outro programa de controle de poluição que foi iniciado recentemente com a Resolução CONAMA 297 em 2002, foi o PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares), uma vez que o uso de motos cresceu de forma acelerada e contribui com o aumento de emissão de poluentes, por exemplo, o CO. Tal programa apresenta princípios e objetivos similares aos do PROCONVE, no sentido de reduzir emissões de poluentes durante sucessivas fases e promover e implantar programas de manutenção e inspeção. Neste trabalho, vamos discutir apenas as fases L3 e L4 do PROCONVE, pois essas fases coincidem com a série de dados de concentração e porque os veículos leves ainda representam a maior parte da emissão de CO.

Análise estatística da concentração de CO: A evolução temporal do monóxido de carbono pode ser um indicador de como as políticas públicas têm alterado a qualidade do ar na RMSP. A distribuição espacial do poluente também pode ajudar na análise dos fatores que influenciam a concentração do mesmo. A tabela 2 mostra os dados das estações da CETESB que registraram as concentrações de CO de 1996 a 2009. As estações que não possuíam registros em todo esse intervalo foram desconsideradas. O ajuste linear, feito a partir do gráfico das médias mensais de

1996 a 2009 com o tempo para cada estação, resultou nos coeficientes listados. A média representa o valor médio de todo o período considerado.

Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Coefficiente Angular (ppm por mês)	Média (ppm)	R (Coeficiente de Correlação)	R ² (Coeficiente de Determinação)
<i>P. D. Pedro II</i>	-23,5445442	-46,627594	-0,009	1,36788621	-0,79570484	0,635
<i>Ibirapuera</i>	-23,5911026	-46,6601486	-0,003	0,926668899	-0,49707536	0,247
<i>São C. do Sul</i>	-23,6181698	-46,5562553	-0,006	1,285459095	-0,59437304	0,352
<i>Congonhas</i>	-23,6155968	-46,6629677	-0,016	2,434461763	-0,87092021	0,755
<i>Cerqueira César</i>	-23,5528393	-46,6722336	-0,009	1,558508012	-0,81041171	0,66
<i>Centro</i>	-23,5469742	-46,6421776	-0,012	1,787116421	-0,84676023	0,713
<i>Santo Amaro</i>	-23,6542473	-46,7094955	-0,003	0,930939608	-0,4563241	0,2
<i>Osasco</i>	-23,5260277	-46,7915649	-0,009	2,173864301	-0,78278196	0,612

Tabela 2- Dados das estações da CETESB e média e coeficientes resultantes do ajuste linear das concentrações médias mensais de CO no período de 1996 a 2009.

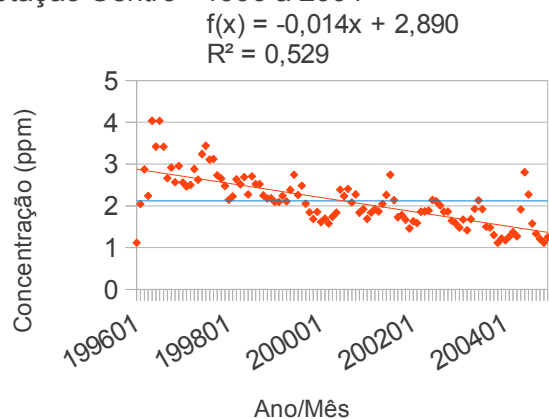
Nota-se que a concentração de CO se correlaciona inversamente com o tempo (coeficiente angular negativo), ou seja, enquanto os anos passam, a concentração do poluente diminui. O coeficiente angular, que representa a inclinação da reta e logo a taxa variação da concentração com o tempo, indica decréscimo em todas as estações, variando de -0,003 a -0,016 ppm por mês. O coeficiente de correlação mostra valores de razoável a forte correlação, sendo a estação Santo Amaro a que apresenta menor correlação entre as concentrações e o tempo (0,456) e a estação Congonhas com o maior coeficiente (0,871). Observa-se também que os maiores coeficientes coincidem com as estações com maiores médias de concentração do poluente. O coeficiente de determinação indica a porcentagem da variação das concentrações que são explicadas pelo ajuste linear. Estações como P. D. Pedro II e Cerqueira César possuem bom percentual de variação de CO com o tempo explicada pelo ajuste, diferentemente do que acontece nas estações do Ibirapuera, São Caetano do Sul e Santo Amaro, em que a variação da concentração de CO não é bem explicada pela reta.

As maiores concentrações médias de CO, ao longo dos anos de 1996-2009, foram as de Congonhas, Osasco e Centro, respectivamente. Essas estações estão em regiões com alto fluxo de tráfego de veículo, reforçando a heterogeneidade distribuição do poluente em diferentes partes da RMSP. Há estações em que a diminuição desse poluente com o tempo é mais acentuada do que em outras, como nas estações Congonhas e Centro. Os gráficos a seguir mostram a evolução temporal das concentrações da estação Centro mais detalhadamente, para verificar a influência das fases L3 e L4 do PROCONVE.

No gráfico 1a, a série de dados se refere à concentração de CO no intervalo de 1996 a 2004, o qual é marcado pela queda relevante das emissões do poluente, que se pode verificar pelo valor do coeficiente angular (-0,014 ppm por mês). O intervalo de tempo da série de dados do gráfico acima coincide com a terceira fase (L3) do PROCONVE, que definiu limites mais

restritivos em relação as outras fases (Resolução CONAMA 15/97) e na qual foram utilizadas melhores tecnologias para a formação da mistura e controle eletrônico do motor.

Concentrações médias mensais de CO
Estação Centro - 1996 a 2004



Concentrações médias mensais de CO
Estação Centro - 2005 a 2009

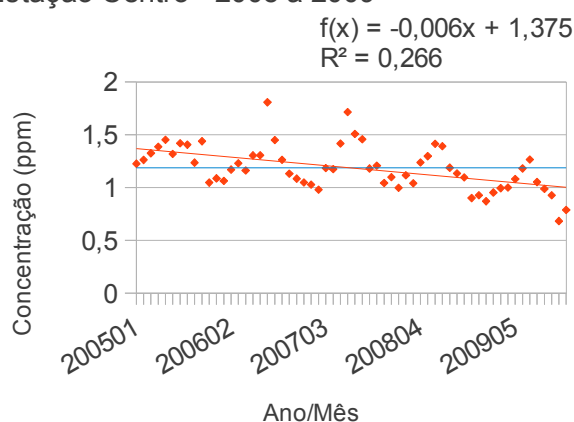


Gráfico 1: concentração de CO para a Estação Centro (a) entre 1996 e 2004 e (b) entre 2005 e 2009.

No gráfico 1b são analisados os dados da concentração de CO no intervalo de 2005 a 2009. O valor do coeficiente angular indica que houve uma diminuição, contudo, menos brusca (-0,006 ppm por mês) se comparada ao período anterior. Este intervalo de tempo coincide com a quarta fase (L4) do PROCONVE, que priorizou a redução de HC e Nox e na qual foi otimizada a geometria da câmara de combustão, bicos de injeção, aumento da pressão da bomba injetora e injeção eletrônica. Essa tendência de diminuição na taxa de decrescimento é explicada pela tendência de estabilização das emissões com a renovação da frota. Além disso, o número de veículos vem aumentando, o que aumenta também a emissão (CARVALHO, 2011).

Concentrações médias mensais de CO

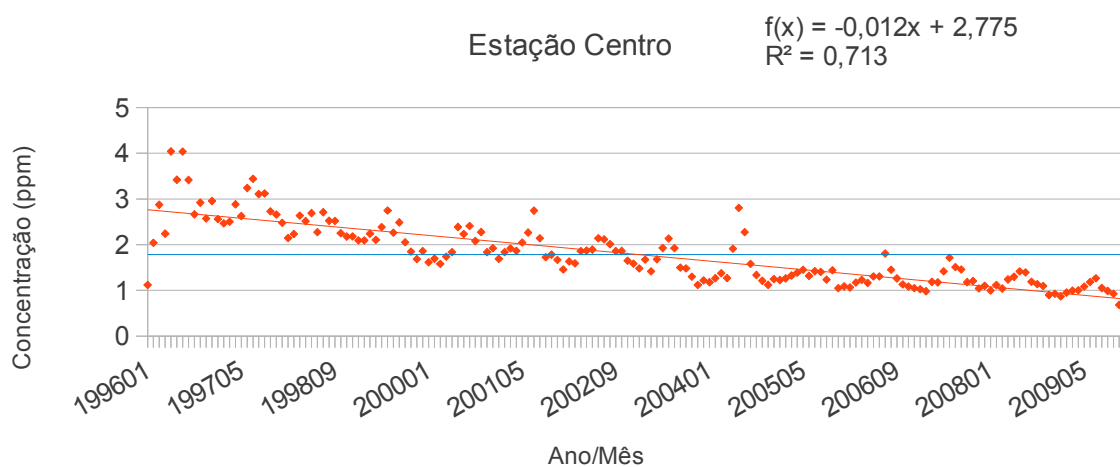


Gráfico 2: concentração de CO entre 1996 e 2006 para a Estação Centro.

No gráfico 2 é mostrada a concentração de CO durante todo o período. A taxa de decrescimento da concentração de CO (-0,012 ppm por mês) agora é menor que a da primeira

fase, mas consideravelmente maior que da segunda, uma vez que a fase L3 tem um período de duração de quase o dobro que o da fase L4.

Verifica-se também que a variação das concentrações com o tempo apresenta grande sazonalidade, mostrando um padrão de queda próximo a estação do verão seguida do aumento no inverno. De acordo com o Relatório de Qualidade de Ar (CETESB, 2011) o período entre os meses de maio a setembro geralmente é pouco favorável para dispersão de poluentes, com ocorrência de inversões térmicas em baixos níveis, alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e baixos índices pluviométricos. Mesmo esse padrão sazonal apresenta diferentes amplitudes, indicando ainda outras causas para a evolução temporal apresentada pelas concentrações de CO.

CONCLUSÃO

Embora haja esforços para a diminuição da emissão de poluentes por fontes móveis por políticas públicas, é pouco certo afirmar que a queda da concentração de monóxido de carbono seja apenas resultado do controle por elas realizado. É necessário considerar as variáveis meteorológicas que influenciam constantemente no resultado da concentração de poluentes como o monóxido de carbono. Porém, os dados mostraram uma clara tendência de diminuição da concentração do CO ao longo da implantação do PROCONVE, mesmo passando por períodos de diferentes características meteorológicas, indicando que o programa teve certa eficácia. Além disso, ao contrário do que acontece com as variáveis meteorológicas, as emissões de poluentes por fontes veiculares podem ser controladas, gerando resultados a curto e médio prazo.

Como trabalho futuro, será realizada uma análise estatística mais completa, que incluirá também uma série de dados mais recentes e ainda outras estações de monitoramento, além da análise das variáveis meteorológicas e sua relação com as concentrações de CO encontradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, C. H. R. Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. *Textos para discussão – IPEA*, Brasília, 1606, abril de 2011.
- CETESB – Environmental protection agency of São Paulo, 2011: Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2012. São Paulo.
- GOUVEIA, N. Os impactos do desenvolvimento (in) sustentável do setor de transportes na saúde da população de São Paulo. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, v. 20, n.2, p. 136-146, abr/jun, 2006. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_10.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2012.
- Olmo, N. R. S. Poluição Atmosférica e Exposição Humana: a Evolução Científica Epidemiológica e sua Correlação com o Ordenamento Jurídico. Tese. Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, 2010. 254p.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE- OMS. Guia de Qualidade do Ar. *Atualização Mundial*, 2005 – Relatório da reunião do Grupo de Trabalho, Alemanha, 2005.
- VASQUES, P. H. R. P. Poluição Atmosférica e a Resolução CONAMA 315/02: limites e possibilidades na celebração de compromisso de ajustamento de conduta. Monografia. Departamento de Direito. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- VITTE, C. C. S. Inovações e permanências na gestão de cidades e na gestão do desenvolvimento local no Brasil: novas contradições, novos conteúdos? In: CARLOS, Ana Fani Alessandri; LEMOS, Amália Inês Geraiges (orgs.). Dilemas Urbanos: novas abordagens sobre a cidade. São Paulo: Contexto, 2003. pp. 232-243.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO. *Air Quality Guidelines for Europe*, Second Edition, 2000.