



<http://ensaios.usf.edu.br/>

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS NA CONCENTRAÇÃO DE CO ATMOSFÉRICO

STUDY OF INFLUENCE OF VARIABLES AT ATMOSPHERIC CO CONCENTRATION

D'AMELIO, Monica T. S.¹ SILVA, Juliana G.²

¹Professora Doutora, Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Itatiba; ²Aluna do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Itatiba

monica.felippe@usf.edu.br

RESUMO. Em paralelo ao desenvolvimento tecnológico das cidades, está a poluição gerada. A lei torna-se rigorosa quanto à emissão em corpos líquidos e sólidos. Entretanto, pouco é feito em relação à poluição atmosférica. Estudos constantes são realizados em função dos gases de efeito estufa, entretanto, sobre outros gases tóxicos presentes na atmosfera, em específico, o monóxido de carbono (CO), o estudo ocorre apenas em torno das regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. Pouco estudo existe nas cidades do interior, pois sua principal fonte é relacionada apenas à emissão veicular. Entretanto, queima de biomassa e indústrias também contribuem para tal. Devido ao CO ser um elemento nocivo à saúde humana, faz-se necessário seu estudo em outras regiões de São Paulo que possuem características de produção agrícola e industrial. Neste contexto foram estudadas quatro cidades do interior paulista, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Taubaté e Taboão da Serra, em relação à concentração de CO. Para identificar as possíveis fontes e sumidouros deste gás, foram relacionados outros parâmetros como temperatura, pluviometria, umidade relativa do ar, velocidade do vento, ozônio, e materiais particulados finos e inaláveis, e analisado o coeficiente de determinação, R^2 , o que permitiu identificar quais possuem correlação com a concentração de CO, tanto positiva como negativa. Com esta análise, foi possível identificar que as cidades possuem características de fonte diferentes. A emissão veicular foi indicada como fonte dominante em São José dos Campos e Taubaté. A queima de biomassa como principal fonte de CO em Ribeirão Preto e em Taboão da Serra, foi identificada a influência do transporte atmosférico do CO. A temperatura e a umidade relativa contribuem para a remoção do CO atmosférico pelo arraste e além de propiciar melhores condições para a reação deste com outros componentes do ar.

Palavras-chave: monóxido de carbono; poluição atmosférica; interior paulista; ciclo sazonal.

ABSTRACT. Parallel to the technological development of cities, there is the pollution generated. The law becomes strict regarding the emission in liquid and solid environment. However, few actions related to atmospheric pollution. There are constant studies about greenhouse gases; however, the study of other toxic gases present in the atmosphere, in particular carbon monoxide (CO), only occurs around the metropolitan areas of São Paulo and Rio de Janeiro. Few studies exist in the cities of the interior, because its main source is related only to vehicular emission. However, biomass burning and industries also contribute to CO atmospheric concentration. Due to harmful effect on human health, it is necessary to study in other regions of São Paulo that have characteristics of agricultural and industrial production. In this context, we studied CO concentration above four cities in the interior of São Paulo, Ribeirão Preto, São José dos Campos, Taubaté and Taboão da Serra. In order to identify the possible sources and sinks of this gas, other parameters such as temperature,



<http://ensaios.usf.edu.br/>

rainfall, relative air humidity, wind speed, ozone, and fine and inhalable particulate matter were analyzed, and the coefficient of determination, R^2 , was analyzed. With this analysis, it was possible to identify that the cities have different source characteristics. The vehicular emission was as a dominant source in São José dos Campos and Taubaté. Biomass burning as the main source of CO in Ribeirão Preto and Taboão da Serra identified the influence of atmospheric CO transport. The temperature and the relative humidity contribute to the removal of the atmospheric CO by the drag and in addition to providing better conditions for the reaction of this with other components of the air.

Keywords: carbon monoxide; atmospheric pollution; interior of São Paulo; seasonal cycle.

INTRODUÇÃO

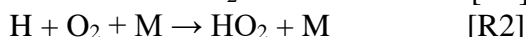
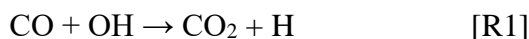
O progresso trouxe à sociedade muitos benefícios. Desde a época da Revolução Industrial, a humanidade vem transformando sua vida através da tecnologia que promove facilidades e conforto. Entretanto, o desenfreado crescimento trouxe a poluição ambiental, gases tóxicos, aumento dos gases do efeito estufa, rios e mares poluídos, solos contaminados. Um dos principais poluentes atmosféricos é o gás, monóxido de carbono (CO) (GUIMARÃES, 2011).

O CO é considerado tóxico pois, quando aparecem em altas concentrações, provocam riscos à saúde, causando problemas respiratórios, convulsões, perda de consciência e pode até levar à morte por asfixia (SAAR, 2014). A interação com a hemoglobina chega a ser 240 vezes maior do que com o oxigênio – fator essencial para a saúde respiratória – promovendo uma decorrente formação de carboxihemoglobina ao invés de oxihemoglobina (CANÇADO et al., 2006). Muitas vezes este poluente não é percebido pois não tem cor e é inodoro, dificultando a detecção de sua presença.

Sua origem provém de queimas, da qual a sociedade está exposta diariamente como a queima de biomassa, combustíveis, indústrias, etc. (ROZANTE *et al.*, 2017). De acordo com as estatísticas, gestantes sofrem duas vezes mais pela exposição de elevadas concentrações de gases tóxicos que incluem o CO, pois além de prejudicar seu próprio corpo, prejudica o feto que tende a perder peso (CHAVES, 2007).

Nas grandes cidades, a emissão veicular de veículos a diesel e gasolina é considerada a maior fonte de CO, mesmo com o desenvolvimento de catalisadores para diminuir essa emissão (ROZANTE, et al. 2017).

Os principais sumidouros de CO são provenientes de sua reação na atmosfera com hidroxila e por deposição seca (SEINFELD e PANDIS, 1998; KHALIL e RASMUSSEN, 1994; HOROWITZ et al., 2004, WEINSTOCK, 1969; BAKWIN et al., 1994). As reações R1 e R2 expressam o esquema simplificado do primeiro sumidouro:



Em relação às reações citadas, é possível saber que para R1 a reação acontece de forma rápida e não depende da temperatura (DEMORE et al., 1994 apud ROZANTE, et al 2017). Estudos preveem que o tempo de vida de CO atmosférico é cerca de 75 dias, o que o torna um dos principais dissipadores de radicais OH na troposfera (SZE, 1977, CRUTZEN e ZIMMERMAN, 1991, Jacobson, 2006, Wallace e Hobbs, 2006 apud ROZANTE, et al 2017).



<http://ensaios.usf.edu.br/>

O gás CO não pode ser considerado um gás de efeito estufa por não absorver nenhum tipo de radiação infravermelha terrestre. Entretanto, nas reações que está presente, consegue produzir os principais gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) (ISAKSEN E HOV, 1987 apud ROZANTE, et al 2017).

Os estudos referentes ao CO são realizados em grandes cidades, vinculados à saúde pública. Entretanto, o crescimento das cidades do interior provoca o crescimento de atividades antrópicas, como o aumento de veículos e de indústrias. Ademais, o centro-oeste de São Paulo é caracterizado por ser produtor de cana de açúcar, a qual ainda possui em seu processo de plantio, a queima, emitindo CO e carbono quando incompleta. Neste cenário, estudou-se a variabilidade do monóxido de carbono em quatro diferentes do interior de São Paulo, e procurou-se identificar as principais fontes de gás em cidades menores. Para tal, foram utilizados dados disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) da concentração deste gás e outras variáveis que ajudaram a compreender o fundamento esperado.

METODOLOGIA

Obtenção dos dados

Os dados estudados compreenderam, além da concentração de CO, de outras variáveis que podem ser relacionadas à fonte ou ao sumidouro de CO como: materiais particulados finos (MP10) e inaláveis (MP 2,5), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV), temperatura, ozônio, focos de queimada e pluviometria. Todos os dados utilizados são de domínio público. Os dados de concentração de CO, MP2,5, MP10, UR, VV, temperatura e ozônio foram obtidos na Plataforma Qualar da CETESB disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>>. Os dados de pluviometria e focos de queimada estão disponíveis na Plataforma do CPTEC (Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais).

Locais de estudo

Foram escolhidas quatro cidades do interior do estado de São Paulo com localizações e características distintas: Ribeirão Preto, Taubaté, São José dos Campos e Taboão da Serra, com o objetivo de mapear as principais fontes de CO em diferentes regiões deste estado.

O município de Ribeirão Preto, localizado a 313km de São Paulo é considerado o terceiro município mais populoso do estado de São Paulo com 682.302 habitantes em 2016 e o maior índice de queimadas na colheita de cana-de-açúcar. Sua frota veicular atingiu 505.903 de veículos em 2017. A torre de monitoramento da CETESB está situada no Parque Ecológico Maurílio Biaggi (21°10'30.7"S 47°48'58.9"W) no centro da cidade. Os dados disponíveis compreendem o período de 11 de janeiro de 2017 a 31 de outubro de 2017.

Taubaté, localizada a 130 km de São Paulo, possui 307.953 habitantes, e está localizada a 130km da cidade de São Paulo. O município possuía 203.275 automóveis registrados no local em 2017. A torre de monitoramento da CETESB está localizada no Parque Municipal Jardim das Nações, próximo a um grande parque industrial (23°01'54.9"S 45°34'30.5"W). Os dados disponíveis compreendem o período de 03 de janeiro de 2017 a 31 de outubro de 2017.

O município de São José dos Campos, localizado a 94km de São Paulo capital possui uma população de 703.219 habitantes, mais que o dobro de sua vizinha Taubaté. O total de veículos que circulavam em 2017 somam 413.600. Sua sede de monitoramento de CO fica localizada em um bairro da cidade chamado Jardim Satélite (23°13'30.7"S 45°53'25.3"W). Os dados coletados apresentaram maior período, sendo de 02 de junho de 2015 a 31 de outubro de 2017.

A última cidade estudada, Taboão da Serra está mais próxima da capital, 22km, mas possui baixo número de habitantes, 279.634, e veículos, 124.325. A torre de monitoramento está localizada na Praça Nicola Vivilechio (23°36'33.0"S 46°45'20.1"W) no centro da cidade. Os dados analisados foram do período de 02 de julho de 2004, até 09 de maio de 2017 – data limite de obtenção disponibilizada pela plataforma QUALAR. A compilação desses informações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Informações dos municípios estudados e localização das estações de monitoramento da CETESB.

Município	Torre de monitoramento	População	Frota veicular	Distância da capital (km)
Ribeirão Preto	Parque Ecológico - Maurílio Biaggi	604.682	505.903	313
Taubaté	Praça Santa Terezinha - Centro	278.686	203.275	130
São José dos Campos	Bairro Jd. Satélite	629.921	413.600	94
Taboão da Serra	Praça Nicola Vivilechio - Centro	244.528	124.325	22

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ribeirão Preto

A série temporal do CO (Figura 1a) entre os períodos de 11 de janeiro a 31 de outubro de 2017 mostrou a sazonalidade característica da concentração de CO na atmosfera, com maior concentração no período frio e seco, e menor concentração nas estações chuvosas (verão e primavera). A atmosfera mais fria desfavorece as reações R1 e R2, as quais são sumidouros de CO da atmosfera. A baixa umidade desfavorece o arraste úmido. A pluviometria (Figura 1b) medida neste período foi inferior a 10 mm. Assim, a estação de inverno desfavorece a retirada de CO na atmosfera, por isso os maiores picos. Nas estações de verão e primavera, com maior quantidade de precipitação (Figura 1b), a concentração de CO diminuiu.

Os mais importantes poluentes da atmosfera são o ozônio e o material particulado inalável (JÚNIO et al., 2008). Por este motivo, relacionou-se a concentração de CO com esses poluentes. O material particulado, tanto o PM_{2,5} (Figura 1c) quanto o PM₁₀ (Figura 1d), mostraram relação direta com o CO na estação chuvosa (primavera e verão), uma vez que a principal fonte nesta estação é a emissão veicular. Já na estação de seca, inverno e outono, com pouca chuva, o aumento expressivo do CO não foi acompanhado do aumento dos Materiais Particulados, pelo contrário. Desta maneira, conclui-se que o aumento pode ser ocasionado pela queima de biomassa incompleta. A queima de biomassa contribui para o aumento dos dois fatores, entretanto, a localização da torre de monitoramento longe dos focos de queimada, não percebe o aumento Material Particulado. Por serem mais densos que o CO, sua deposição é mais rápida. O CO sofre circulação atmosférica. Este fato indica que a maior

fonte de CO para esta cidade foi a queima de biomassa. A análise feita com a velocidade do vento (Figura 1f), mostrou que a fonte de CO encontra-se na própria cidade, isto é, não é proveniente de circulação atmosférica. Isso porque, os maiores índices de vento, tiveram a menor concentração de CO. Ademais, este fato indica que a baixa circulação da atmosfera, principalmente nos meses mais secos, contribui para o aumento de CO na troposfera.

A relação do CO com o O₃ (Figura 1e) mostrou que o aumento do ozônio troposférico, principalmente nas estações de mais quentes, não tiveram correspondência de aumento do CO. Esta análise mostra que mesmo sendo um poluente importante, o CO não é o maior poluente da troposfera nesta região. A partir da análise da temperatura (Figura 1f), observa-se que as temperaturas mais quentes favorecem a produção de O₃ mas não de CO. Já no inverno, foi observado o oposto. Isso porque, as reações sumidouro de CO e fonte de O₃ são endotérmicas, precisam de maior temperatura para ocorrerem.

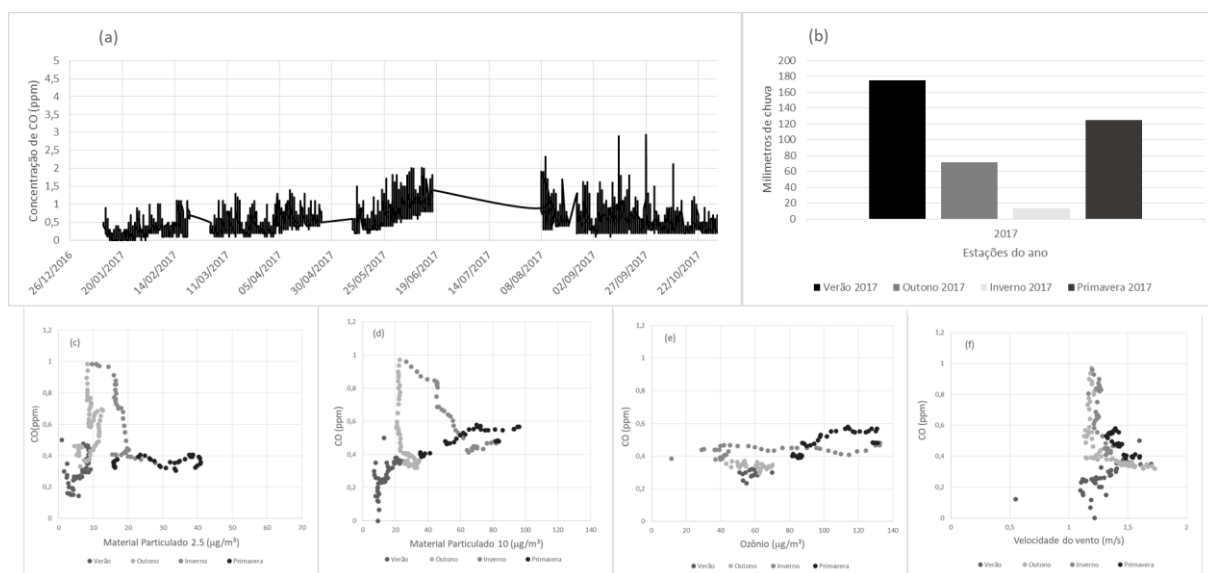


Figura 1 – Dados de CO analisados para a cidade de Ribeirão Preto. (a) Série temporal; (b) Pluviometria; (c) Relação de CO e Material Particulado 2,5 μm ; (d) Relação de CO e Material Particulado 10 μm ; (e) Relação de CO com o Ozônio; (f) Relação de CO com a velocidade do vento.

São José dos Campos

A série temporal de CO para a cidade de São José dos Campos também apresentou a sazonalidade característica, com maiores concentrações de CO no período de seca (Figuras 2a e 2b). Entretanto, observa-se uma tendência crescente no período de seca, isto é, houve aumento da concentração de CO neste período. Ao comparar a pluviometria de São José dos Campos com a pluviometria de Ribeirão Preto, observou-se que a primeira apresentou maior pluviometria. Este pode ser um dos fatores para a menor concentração de CO em São José dos Campos em relação àquela cidade. Pela menor quantidade de dados, é possível observar que não é constante a alta emissão de CO, tanto no período de seca como no de chuva. Este fato indica que existem fatores que contribuem para a maior ou menor concentração de CO na atmosfera, e que esta varia a todo instante, isto é, é intimamente relacionada com as condições da atmosfera e responde rapidamente a suas fontes e sumidouros.

A concentração de CO também foi relacionada com as concentrações de materiais particulados medidos: PM_{2,5} (Figura 2c) e PM₁₀ (Figura 2d). As estações de chuva, verão e

primavera, apresentaram baixa concentração de CO e de PM_{2,5}, o que permite observar uma relação linear direta. Já nas estações de seca, outono e inverno, a concentração de material particulado PM_{2,5} aumenta mas a concentração de CO não. Entretanto, a concentração de PM₁₀ não apresentou o mesmo comportamento. A primavera e o outono a apresentam baixa concentração de CO e material particulado. A estação chuvosa apresentou aumento apenas de PM₁₀, mas no inverno, a concentração de CO aumentou na mesma proporção que o material particulado. Com isto, conclui-se que as condições climáticas influenciam mais na concentração de CO do que de material particulado, pois a baixa umidade com a menor temperatura, não favorecem o processo de remoção de CO da atmosfera. Estes fatos indicam que a maior fonte de CO para esta cidade foi a emissão veicular, e não a queima de biomassa.

A relação de CO com ozônio (Figura 2e) não contribuiu para indicação de possíveis fontes e sumidouros. Não houve um padrão definido de comportamento nas diferentes estações do ano, o que indica maior contribuição de reações químicas na atmosfera, favorecidas em determinadas condições atmosféricas. Altas concentrações de O₃ são registradas em locais muito arbóreos na presença de sol. A temperatura, conforme apresentado na Figura 2f, tem contribuição para a redução de CO da atmosfera. As maiores temperaturas registradas apresentaram menor concentração de CO. O inverno, por ter apresentado temperaturas entre 15°C e 25°C, apresentou maiores concentrações de CO. A baixa temperatura favorece para a baixa altitude da Camada Limite Planetária (CLP), a qual funciona como uma redoma e desfavorece a dispersão de gases, inclusive o CO. Em dias muito frios, a CLP permanece durante todo o dia e, assim, favorece para a alta concentração de CO. O desenvolvimento da cidade, bem como o aumento de veículos registrados, são fatores contribuintes para o aumento da concentração de CO nos últimos anos, principalmente no período de seca.

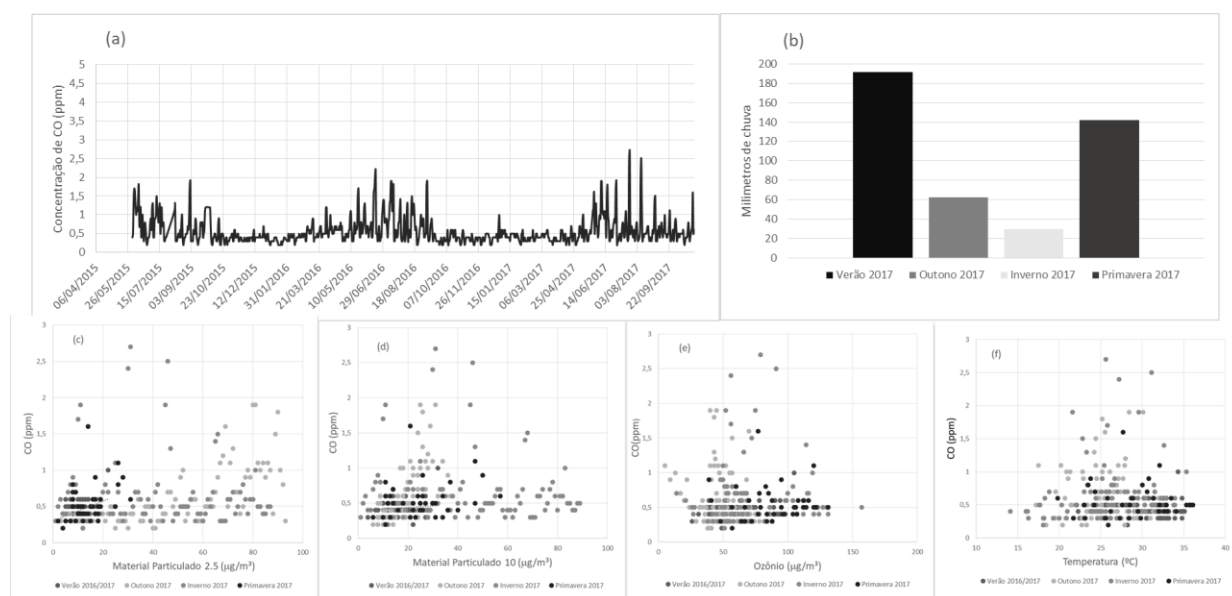


Figura 2 – Dados de CO analisados para a cidade de São José dos Campos. (a) Série temporal; (b) Pluviometria; (c) Relação de CO e Material Particulado 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; (d) Relação de CO e Material Particulado 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; (e) Relação de CO com o Ozônio; (f) Relação de CO com a temperatura do ar.

O monitoramento da cidade de Taubaté é recente, com início em janeiro de 2017. Mas já foi possível identificar característica sazonalidade da série temporal de CO (Figura 3a), com aumento na concentração de CO a partir do final do mês maio. A maior quantidade de picos de CO foi identificada nos meses de junho e julho, meses com menor pluviometria. Nos demais meses de seca, ainda se observam picos, mas mais espaçados uns dos outros. Esse aumento deve-se à fontes, como queimada ou aumento de tráfego, principalmente nos finais de semana, por esta cidade estar na rota para o Litoral Norte de São Paulo, como ao acúmulo de dias sem precipitação pluviométrica. Ao se comparar a pluviometria com as cidades de São José dos Campos e Ribeirão Preto, observa-se que Taubaté apresentou pluviometria entre as cidades supracitadas, mas mesmo assim, apresentou menor concentração de CO do que São José dos Campos, a cidade com maior pluviometria. Este fato relaciona-se à menor quantidade de veículos e indústrias em Taubaté em comparação com São José dos Campos. Este fato indica a fonte de emissão veicular como a maior responsável pela alta concentração de CO na atmosfera. Ao relacionar a concentração de CO com os materiais particulados, observaram-se comportamentos semelhantes para a relação com o PM_{2,5} (Figura 3c) e com o PM₁₀ (Figura 3d). Observa-se que concentração de PM_{2,5} e PM₁₀ decresce da primavera para o inverno e para o outono em 30%, e a redução de CO na mesma proporção. Entretanto, no verão a concentração de CO aumentou muito mais do que a concentração de MP. Na primavera, a presença de flores é muito maior que nas demais estações do ano, as quais produzem pólenes que contribuem para a concentração de MP na atmosfera. Durante a temporada do verão, muitos veículos descem em direção ao Litoral Norte de São Paulo e passam por Taubaté, o que contribui para o aumento significativo da concentração de CO, entretanto, a alta pluviometria, contribui para a remoção dos materiais particulados em maior proporção do que o CO, por serem maiores e com maior afinidade com a água. Acrescido a esse fato, a velocidade do vento (Figura 3f) confirma que na estação do verão, há maior índice de movimento da massa de ar, o que auxilia no transporte de CO para a estação de monitoramento. E a maior densidade dos materiais particulados em relação à densidade de CO desfavorece o transporte atmosférico desses, pois, a deposição neste caso é favorecida.

As altas temperaturas favorecem as reações atmosféricas e por isso foi observada alta concentração de Ozônio nesta estação (Figura 3e).

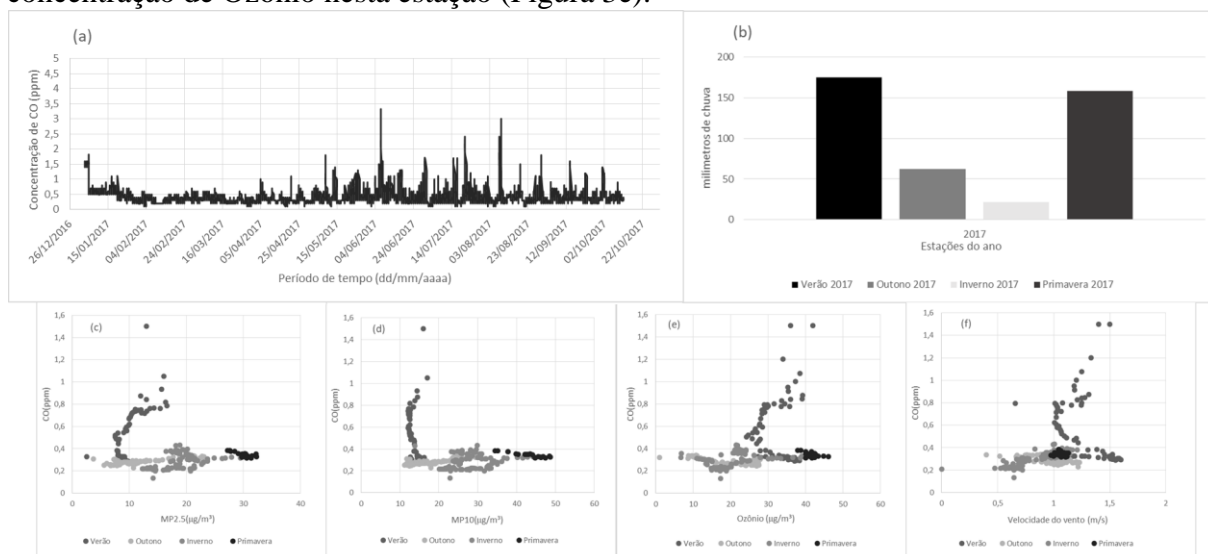


Figura 3 – Dados de CO analisados para a cidade de Taubaté. (a) Série temporal; (b) Pluviometria; (c) Relação de CO e Material Particulado 2,5 μm ; (d) Relação de CO e Material Particulado 10 μm ; (e) Relação de CO com o Ozônio; (f) Relação de CO com a velocidade do vento.

Taboão da Serra

Mesmo sendo a menor cidade estudada, foi a que possuía maior banco de dados disponível, desde 2004, devido à sua proximidade à capital e à necessidade de estudos para a Região Metropolitana de São Paulo. A série temporal de CO de Taboão da Serra (Figura 4a) também apresentou a sazonalidade característica. Entretanto, observa-se queda da emissão de CO ao longo dos anos, em torno de 50%. Rozante et al. (2017) identificaram esta mesma característica para em três diferentes pontos da cidade de São Paulo e relacionaram ao resultado das medidas de diminuição de poluição proveniente da emissão veicular como rodízio municipal, programas de controle de emissão veicular, aumento da frota sobre trilhos, entre outras. Ao comparar com as demais cidades estudadas, a concentração de CO na atmosfera atinge valores 50% maiores no mesmo período, mesmo sendo a frota veicular de Taboão da Serra menor. Este fato mostra a influência da circulação atmosférica maior que a emissão veicular da própria cidade.

Dos fatores relacionados as outras cidades, estava disponível na estação de monitoramento de Taboão da Serra, apenas o material particulado não inalável. Este é diretamente relacionado à emissão veicular, devido à estação de monitoramento estar localizada no centro da cidade e não haver outras fontes como indústria e queima de biomassa na região.

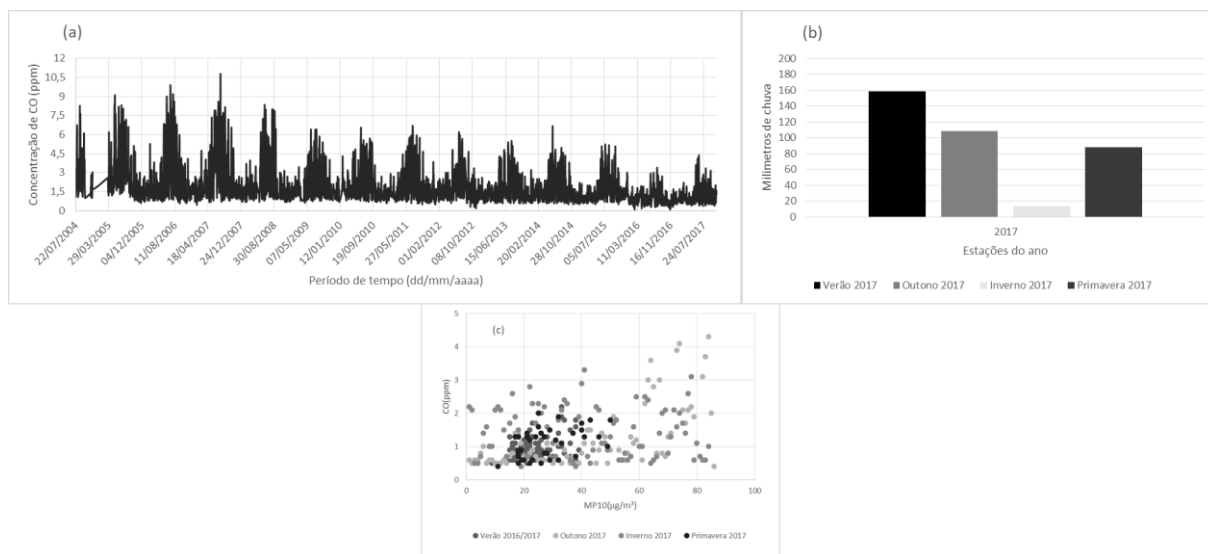


Figura 4 – Dados de CO analisados para a cidade de Taboão da Serra. (a) Série temporal; (b) Pluviometria; (c) Relação de CO e Material 10 μm .

Comparação entre as cidades estudadas

Devido à sazonalidade observada em todas as séries temporais estudadas, compararam-se esses valores com a pluviometria de cada município. A Figura 5 apresenta a média da pluviometria por estações do ano.

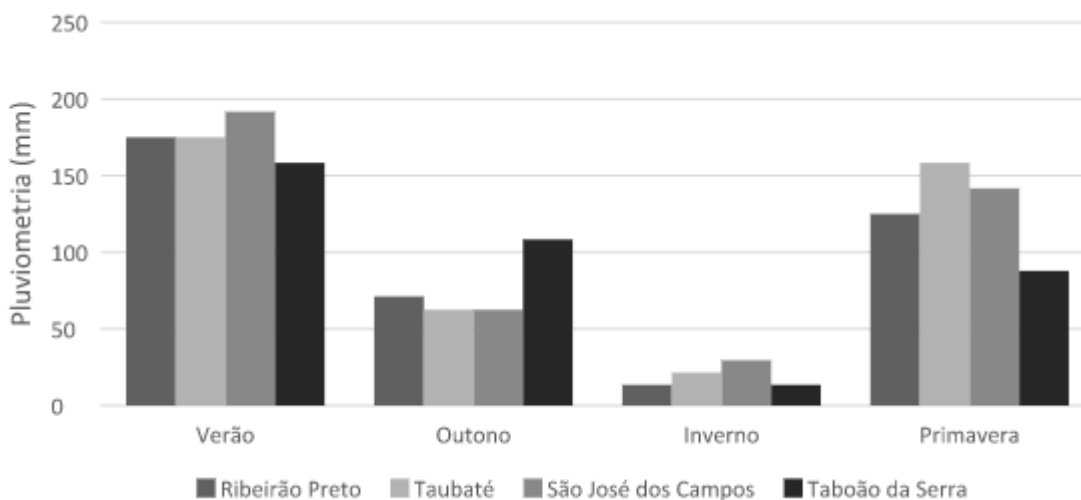


Figura 5 – Representação gráfica com as médias de milímetros de água de chuva por estações do ano no período de 2017.

Para 2017, período comum a todos os municípios, a maior pluviometria foi observada nas estações do verão e da primavera; e as menores no inverno. Entretanto, no outono, Ribeirão Preto e São José dos Campos apresentaram precipitação menor que as outras duas cidades. Isto explica o comportamento observado. Comparando as Figuras 1 a 5, conclui-se que a concentração de CO é inversamente proporcional à pluviometria. Isso porque além do arraste das partículas, aumenta a quantidade de OH na atmosfera, condição que favorece o sumidouro de CO por reação química na troposfera.

Foram relacionados os dados de CO com diferentes parâmetros para cada estação do ano e estação de monitoramento estudada, e determinado o coeficiente de determinação R^2 , o qual está apresentado na Tabela 2. Onde há tracejado, entende-se que não houve disponibilidade de dados.

Apesar da temperatura ser um fator importante na reação de CO na troposfera, não se observou correlação entre esse parâmetro e a concentração de CO, e, portanto, foi considerado o fator de menor influência.

Os materiais particulados foram o que apresentaram a maior correlação com o CO. Em Ribeirão Preto, a relação com os materiais particulados foi alta, principalmente no inverno, estação do ano em que ocorre a queima da cana de açúcar. No verão, a correlação observada entre Ribeirão Preto e Taubaté foram semelhantes. Nesta estação, a umidade do ar é maior, o que facilita reações na troposfera e a deposição dos mesmos. A velocidade do vento também apresentou correlação com o CO para os dois municípios supracitados, uma vez que podem dispersar ou aumentar a concentração do mesmo na troposfera. O ozônio não apresentou uma correlação com o CO, o que indica que a fonte de CO não é a mesma fonte de Ozônio.

Para São José dos Campos, não houve correlação entre os dados analisados. Pode ser devido à localização da estação de monitoramento fora do centro da cidade, e que representa principalmente esta região, uma vez que o CO pode sofrer deposição ou reação em velocidade rápida. Este fator corrobora com a principal fonte de emissão de CO, os veículos, mas também indicam que em Ribeirão Preto, a queima de biomassa teve forte influência na concentração do CO. A cidade de Taboão da Serra possui apenas a medida de MP10, e mesmo assim, apresentou pouca correlação, corroborando que a alta concentração de CO é

proveniente de outro município, no caso, a cidade de São Paulo. Em decorrência das diferentes características dos locais de estudo, foram analisadas as variáveis em relação ao CO para os municípios separadamente. Após a análise dos dados disponíveis, conclui-se que Ribeirão Preto possui como principal fonte de CO a queima de biomassa. Ribeirão Preto apresentou comportamento diferente dos outros locais para todas as variáveis. As correlações são mais acentuadas, o que mostra a influência da estação do ano de maneira mais característica. No verão e na primavera, observa-se correlação positiva para os materiais particulados, entretanto, baixo valor de CO. No outono e no inverno, a concentração de CO foi maior, o que indica que a fonte desses materiais está longe da estação de monitoramento, como é o caso da zona rural. A baixa umidade explica a correlação negativa da umidade relativa com a concentração de CO. Para o inverno e outono, a correlação foi positiva, o que indica que a emissão por queima de biomassa apresenta muita influência na emissão de CO. A velocidade do vento nestas estações também apresentou a correlação esperada, isto é, inversamente proporcional, pois quanto menor o vento, maior a quantidade de CO. Já para as estações primavera e verão, a correlação foi positiva o que indica a influência do CO de outros locais.

Tabela 2 – Valores de R² dos gráficos de concentração de CO (ppm) por Material Particulado 2,5 e 10 (MP2,5 e MP10); Umidade Relativa do Ar (URA); gás ozônio (O₃); Velocidade do vento (VV); e temperatura (Temp).

Parâmetros relacionados ao CO		Verão	Outono	Inverno	Primavera
Ribeirão Preto	CO x MP2,5	0,31	0,10	0,60	0,09
	CO x MP10	0,53	0,46	0,86	0,66
	CO x URA	0,52	0,93	0,94	0,50
	CO x O ₃	0,07	0,27	0,16	0,51
	CO x VV	0,59	0,43	0,52	0,69
	CO x Temp	--	--	--	--
Taubaté	CO x MP2,5	0,55	0,64	0,16	0,54
	CO x MP10	0,16	0,54	0,03	0,83
	CO x URA	0,32	0,38	0,045	0,76
	CO x O ₃	0,01	0,44	0,15	0,34
	CO x VV	0,12	0,42	0,71	0,006
	CO x Temp	0,0003	0,0233	0,09	0,16
São José dos Campos	CO x MP2,5	0,13	0,43	0,007	0,14
	CO x MP10	0,011	0,43	0,008	0,046
	CO x URA	0,006	0,002	0,015	0,004
	CO x O ₃	0,03	0,011	0,001	0,0006
	CO x VV	--	--	--	--
	CO x Temp	0,0008	9E-07	0,035	4E-05
Taboão da Serra	CO x MP2,5	--	--	--	--
	CO x MP10	0,14	0,36	0,0005	0,17
	CO x URA	--	--	--	--
	CO x O ₃	--	--	--	--
	CO x VV	--	--	--	--

Após a análise dos dados disponíveis, conclui-se que Ribeirão Preto possui como principal fonte de CO a queima de biomassa. Ribeirão Preto apresentou comportamento diferente dos outros locais para todas as variáveis. As correlações são mais acentuadas, o que mostra a influência da estação do ano de maneira mais característica. No verão e na primavera, observa-se correlação positiva para os materiais particulados, entretanto, baixo



<http://ensaios.usf.edu.br/>

valor de CO. No outono e no inverno, a concentração de CO foi maior, o que indica que a fonte desses materiais está longe da estação de monitoramento, como é o caso da zona rural. A baixa umidade explica a correlação negativa da umidade relativa com a concentração de CO. Para o inverno e outono, a correlação foi positiva, o que indica que a emissão por queima de biomassa apresenta muita influência na emissão de CO. A velocidade do vento nestas estações também apresentou a correlação esperada, isto é, inversamente proporcional, pois quanto menor o vento, maior a quantidade de CO. Já para as estações primavera e verão, a correlação foi positiva o que indica a influência do CO de outros locais.

CONCLUSÃO

Os estudos supracitados, concluíram que a maior emissão de CO é proveniente de combustão veicular nas cidades de Taubaté e São José dos Campos. Entretanto, a região de Ribeirão Preto possui grande influência de queima de biomassa, principalmente devido à queima de cana de açúcar na entressafra. Como Taboão da Serra é a cidade mais próxima da capital paulista, a alta concentração em São Paulo influenciou significativamente poluição, devido à circulação da atmosfera. Este estudo mostra, então, a importância do estudo das diferentes regiões do estado de São Paulo para a identificação das fontes de CO e ação por políticas públicas.

Os parâmetros estudados mostraram-se importantes na identificação das fontes e sumidouros, o que mostra a importância de suas medidas em todas as estações de monitoramento. Sugere-se também o monitoramento horário de CO em todas as estações de monitoramento, para identificar a presença ou ausência da sazonalidade diária relatada em estudos prévios para a RMSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANÇADO, J. E. D, BRAGA A., PEREIRA, L. A. A., ARBEX M. A., SALDIVA P. H. N., SANTOS U. P. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica.** J. Bras. Pneumol., 32, S5–S11, 2006.

CETESB, **Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2016.** Divisão de Análise de dados, São Paulo, 2017.

CHAVES, Nelson. **O homem além do tempo (Coleção nordestina).** Recife, 2007.

GUIMARÃES. **Estudo sobre as relações entre as doenças respiratórias e a poluição atmosférica e variáveis climáticas, na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil.** Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, UFP- Curitiba, 2011.

ROZANTE, J.R.; ROZANTE, V.; ALVIM, D.S.; MANZI, A.O.; CHIQUETTO, J.B.; D'AMELIO, M.T.S.; Moreira, D.S. **Variations of carbon monoxide concentrations in the megacity of São Paulo from 2000 to 2015 in different time scales.** Atmosphere, 8, 81, DOI: 10.3390/atmos8050081, 2017.

SAAR, A.F **Qualidade do ar no município de Volta Redonda.** Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Gestão Estratégica e Qualidade, UCM – Rio de Janeiro, 2004.



<http://ensaios.usf.edu.br/>

Aceito em: 02/08/2018

Publicado em: 10/12/2018.