

## **Análise comparativa entre dados da concentração de monóxido de carbono (CO) CETESB e do sensor MOPITT no município de São Paulo entre os anos de 2004 e 2005.**

Yhasmin Mendes de Moura<sup>1</sup>  
Marcos Luiz de Andrade Pinto<sup>2</sup>  
Marcela de Ávila Villaron<sup>2</sup>  
Roberto Tadeu de Araújo<sup>2</sup>  
Cleber Souza Corrêa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Taubaté - UNITAU  
Bolsista de Iniciação Científica – CNPq/PIBIC/INPE  
12.020-040 -Taubaté, SP, Brasil  
yhasmin@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Subdivisão de Climatologia Aeronáutica (PCA) - ICEA - Comando da Aeronáutica – São José dos Campos - SP, Brasil  
estudosclimatológicos@icea.gov.br

**Abstract.** This paper proposes to use tools of remote sensing in studies of air quality. So, it carries out a comparative analysis between the estimated of carbon monoxide (CO) in the atmosphere obtained from the sensor MOPITT and data from two monitoring stations of the air quality located at Congonhas and at Ibirapuera, both in the city of Sao Paulo – SP. It were also used data of the clouds registred by the Airport of Congonhas. These data are of the months of July and August 2004 and 2005. When the average of total clouds was equal or less than 1/8 of the sky, of the station at Ibirapuera, it found out a correlation coefficient (R) equal to -0.65. In all presents relations, the sign of the angular coefficient of the linear equation was negative, indicating a trend of inverse correlation, possibly influenced by factors related to the level of collection and processing of data, as well as the dynamics of the Planetary Boundary Layer (PBL).

**Palavras-chave:** air quality, atmosphere remote sensing, carbon monoxide, qualidade do ar, sensoriamento remoto da atmosfera, monóxido de carbono.

### **1. Introdução**

Há nos últimos anos um aumento de estudos voltados à qualidade do ar e sua influência na saúde da população (Nascimento, 2004; Perez, 2005). De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2007) a emissão de poluentes atmosféricos pode ser nociva à saúde, produzindo danos aos materiais, à fauna e à flora. Além disso, pode ser prejudicial à segurança e às atividades normais da comunidade.

Neste contexto, o monóxido de carbono (CO) apresenta-se como um dos principais poluentes atmosféricos. Este é considerado um asfíxiante sistêmico, visto que prejudica a oxigenação dos tecidos (CONPET, 2006). Pode ser produzido tanto por processos naturais quanto antropogênicos. Em relação às fontes de emissão antropogênicas, os veículos automotores contribuem consideravelmente para as altas concentrações de CO encontradas nos grandes centros urbanos (CETESB, 2007).

No período de 1996 a 2005, a frota de veículos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) cresceu 60% enquanto o contingente populacional, 15%. Só o incremento populacional no período já seria motivo de preocupação, visto que cada indivíduo tem sua

demanda de consumo de energia, insumos e de transporte, ainda mais considerando o crescimento significativo da frota urbana (CONPET, 2006).

Os diversos aerossóis troposféricos e gases de efeito estufa contribuem para a poluição dos grandes centros, afetando, direta e indiretamente, o clima em escala regional e global por intermédio de suas interações com a radiação óptica no planeta e de seus efeitos sobre a microfísica das nuvens (Gerber e Hindman, 1980; Kaufman et al, 1994). Mudanças na concentração, distribuição e no tipo de aerossóis afetam a temperatura e o gradiente térmico atmosférico. Desta forma, os aerossóis e gases antropogênicos estão intimamente ligados ao balanço de energia Terra-Atmosfera, ao sistema climático e ao ciclo hidrológico (Kaufman et al, 2002).

As condições climáticas e geográficas da RMSP são desfavoráveis à dispersão de poluentes, em especial no inverno. A região possui a maior frota de automotores do país, bem como está inserida em uma zona industrial. Estes fatores corroboram com a preocupação com os possíveis efeitos dos poluentes sobre a saúde humana (Castanho, 1999).

A emissão de poluentes nas grandes cidades extrapola aos domínios sócio-econômicos, que sustentam este cenário de intensa produtividade, passando a se tornar, também, uma questão de saúde pública. O uso de Sensoriamento Remoto em estudos da qualidade do ar ainda se mostra pouco explorado, mas de grande potencialidade, já que alguns satélites ambientais, tais como o TERRA, por intermédio do sensor MOPITT (*Measurements of Pollution in the Troposphere*), revelam-se como ferramentas alternativas e complementares ao monitoramento da emissão de poluentes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar comparativamente a tendência de correlação entre estimativas da concentração de CO obtidas pelo sensor MOPITT, e dados diários de concentração de CO obtidos nas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da CETESB em Congonhas e no Ibirapuera, ambos na cidade de São Paulo, nos meses de julho e agosto, dos anos de 2004 e 2005, visando fomentar pesquisas sobre ferramentas para o monitoramento da qualidade do ar em mega-cidades e modelos de transferência radiativa.

## **2. Área de estudo**

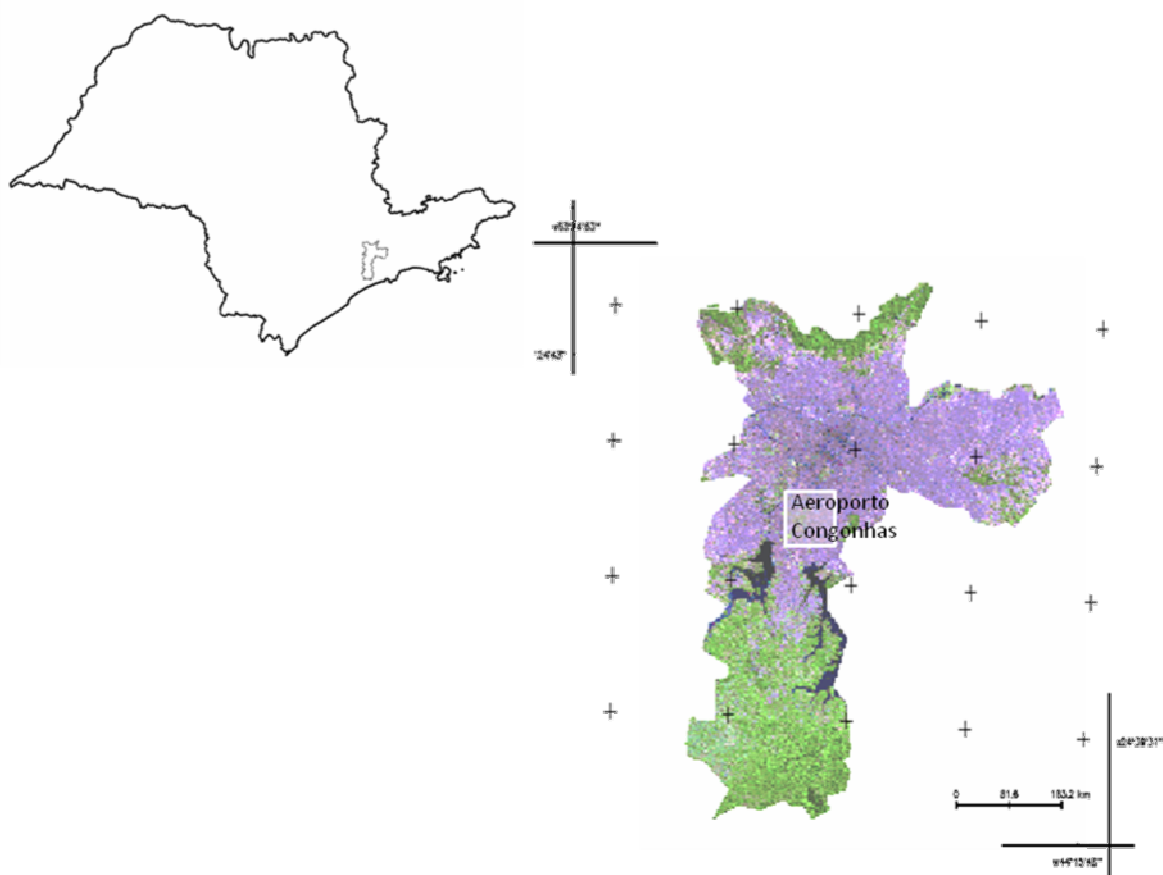


Figura 1: Área de Estudo.

Para realização deste trabalho foi definida como área de estudo a região que abrange as latitudes  $23^{\circ}30'00''S$  e  $24^{\circ}30'00''S$  e as longitudes  $46^{\circ}30'00''W$  e  $47^{\circ}30'00''W$  (Figura 1).

Foram considerados dados oriundos do Aeroporto de Congonhas, localizado nas coordenadas  $23^{\circ}37'34''S$  e  $046^{\circ}39'23''W$  a uma altitude de 802 metros (COMAER, 2006), das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar – CESTESB - de Congonhas, localizada no pátio da Escola Municipal Prof. J. C. da Silva Borges, cujas coordenadas são  $23^{\circ}36'29''S$  e  $046^{\circ}39'37''W$  e a altitude é de 760 metros (CETESB, 2004a), e do Ibirapuera, localizada no Setor 25 do Parque do Ibirapuera, cujas coordenadas são  $23^{\circ}34'55''S$  e  $046^{\circ}39'25''W$  e a altitude é de 750 metros (CETESB, 2004b).

A região está inserida no clima tropical úmido de altitude do Planalto Paulistano, cujo relevo é formado por colinas, patamares e rampas do Pinheiros (Tarifa e Armani, 2001). As médias anuais das temperaturas mínimas, médias e máximas, entre os anos de 1951 e 2000, foram de  $15,8^{\circ}C$ ,  $19,3^{\circ}C$  e  $24,4^{\circ}C$ , respectivamente. (Villaron *et al.*, 2008). Segundo Tarifa e Armani (2001), a região possui uma dispersão de poluentes considerada razoável, além de uma drenagem noturna de ar frio.

No período do Relatório da Qualidade na Estação de Monitoramento de Congonhas (CETESB, 2004a), entre os anos de 1997 e 2002, apenas em 1997 houve ultrapassagem de concentração superior ao nível de atenção (15 ppm). A quantidade de dias que ultrapassaram o Padrão de Qualidade do AR – PQAr, cujo valor é de 8 ppm, diminuiu no período considerado, chegando a registrar apenas 1 ultrapassagem no ano de 2002. A média anual das concentrações máximas de CO em 8 h, no mesmo ano, foi um pouco superior a 2 ppm.

No período do Relatório da Qualidade na Estação de Monitoramento de Ibirapuera (CETESB, 2004b), entre os anos de 1997 e 2002, não houve ultrapassagem de concentração superior ao nível de atenção (15 ppm). A quantidade de dias que ultrapassaram o Padrão de

Qualidade do AR – PQAr, cujo valor é de 8 ppm, foi muito pequena, cerca de 9 dias em 1997, 1 dia em 1999 e 2 dias em 2001. A média anual das concentrações máximas de CO em 8 h, em 2002, foi de 1,4 ppm, aproximadamente.

## 2. Metodologia

Os dados horários de nebulosidade, registrados na Estação Meteorológica de Superfície do Aeroporto de Congonhas (EMS-SP), foram obtidos junto ao Banco de Dados Climatológicos (BDC) da Subdivisão de Climatologia Aeronáutica, do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). Foram selecionadas as informações dos horários das 10 h e 11 h local, e processadas com intuito de se avaliar os períodos mais favoráveis para utilização dos dados de estimativa de CO com o sensor MOPITT do satélite TERRA.

Os dados referentes ao índice de monóxido de carbono, oriundos do sensor MOPITT, em mol/cm<sup>2</sup>, referem-se aos meses de julho e agosto dos anos de 2004 e 2005, e foram obtidos na página do Langley Research Center (LaRC) da NASA, disponível no endereço <ftp://14ft101.larc.nasa.gov/MOPITT/MOP03M.003>. Estes dados são estimados a partir de sondagens verticais que medem a radiação ascendente no comprimento de onda do infravermelho (4,7 µm e 2,2-2,4 µm), utilizando uma correlação espectroscópica para calcular os perfis de CO (monóxido de carbono) e o total integrado na coluna (DRUMMOND JR, 1996).

Os dados da CETESB referem-se às concentrações de CO, em µg/m<sup>3</sup>, nas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar de Congonhas e de Ibirapuera, dos meses de julho e agosto dos anos de 2004 e 2005, período coincidente àquele das estimativas de CO obtidas como o sensor MOPITT. Nesse caso, foram consideradas as concentrações médias diárias entre os horários das 10 h e das 11 h (local), horário relacionado à passagem do satélite TERRA pela região. Depois de verificada a consistência dos dados, eles foram analisados estatisticamente através de planilha eletrônica do Excel.

A metodologia de aquisição dos dados foi esquematizada na figura 2.



Figura 2: Metodologia

## 3 Resultados

Os resultados da comparação entre os dados de concentração de CO obtidos com o MOPITT e nas Estações da CETESB (Figura 3) indicam que existe diferença nos sinais dos coeficientes angulares das equações linear ajustadas para cada uma das estações da CETESB, Congonhas e Ibirapuera, mostrando que no caso dos dados de Congonhas a correlação possui o mesmo sentido, positivo, de quando são utilizados valores médios das medidas de CO, entre das duas estações.

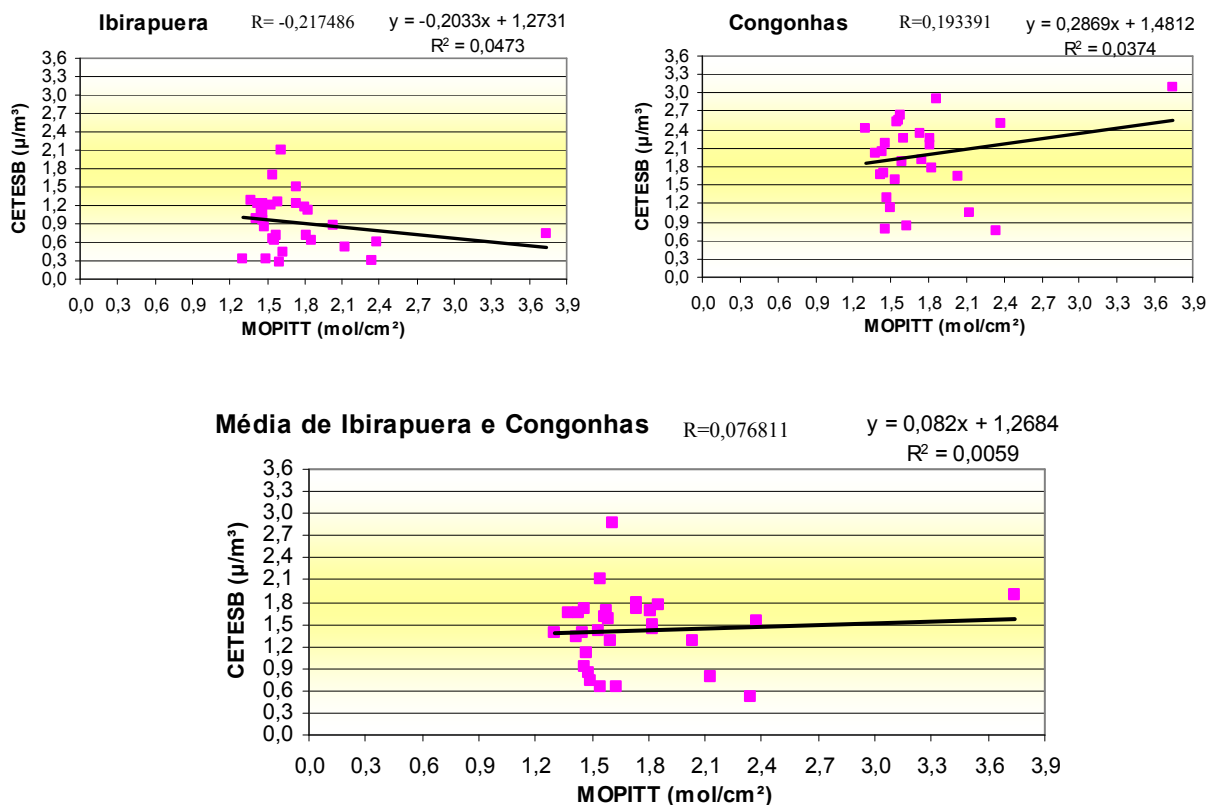


Figura 3: Correlação entre dados de Concentração de CO coletados pelas estações da CETESB (Ibirapuera e Congonhas) e àqueles captados pelo sensor MOPITT, entre 10 h e às 11 h, nos meses de julho e agosto dos anos de 2004 e 2005.

A Figura 4 refere-se aos dados de CO, obtidos com o MOPITT e nas estações da CETESB, quando a nebulosidade média, entre 10 h e às 11 h, foi menor ou igual à 1/8 do céu inteiro, nos meses de julho e agosto dos anos de 2004 e 2005, excluindo os dados com nebulosidade superior. Nesse caso, pode-se observar que tanto para os dados das estações de Congonhas, Ibirapuera, individualmente, quanto para a média das concentrações nas duas, o sinal do coeficiente angular da equação linear ajustada foi negativo, indicando uma possível tendência de correlação negativa entre as variáveis. Além disso, verifica-se um coeficiente de correlação “ $r = -0,65$ ”, para o caso dos dados do Ibirapuera.

A tendência de correlação negativa pode estar associada a diversos fatores, como por exemplo, diferenças na coleta e processamento dos dados de CO e a processos físicos associados a mudanças da dinâmica da Camada Limite Planetária (CLP), uma vez que os dados das estações da CETESB referem-se ao nível de superfície, enquanto aqueles estimados pelo MOPITT estão relacionados aos níveis entre a superfície e 150hPa, corrigidos por dados de modelagem numérica armazenados pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), em altitude, apontando para novas direções de pesquisas sobre a correlação entre as variáveis envolvidas, bem como de fomento àquelas relacionadas às ferramentas de monitoramento de qualidade do ar e modelagem de transferência radiativa.

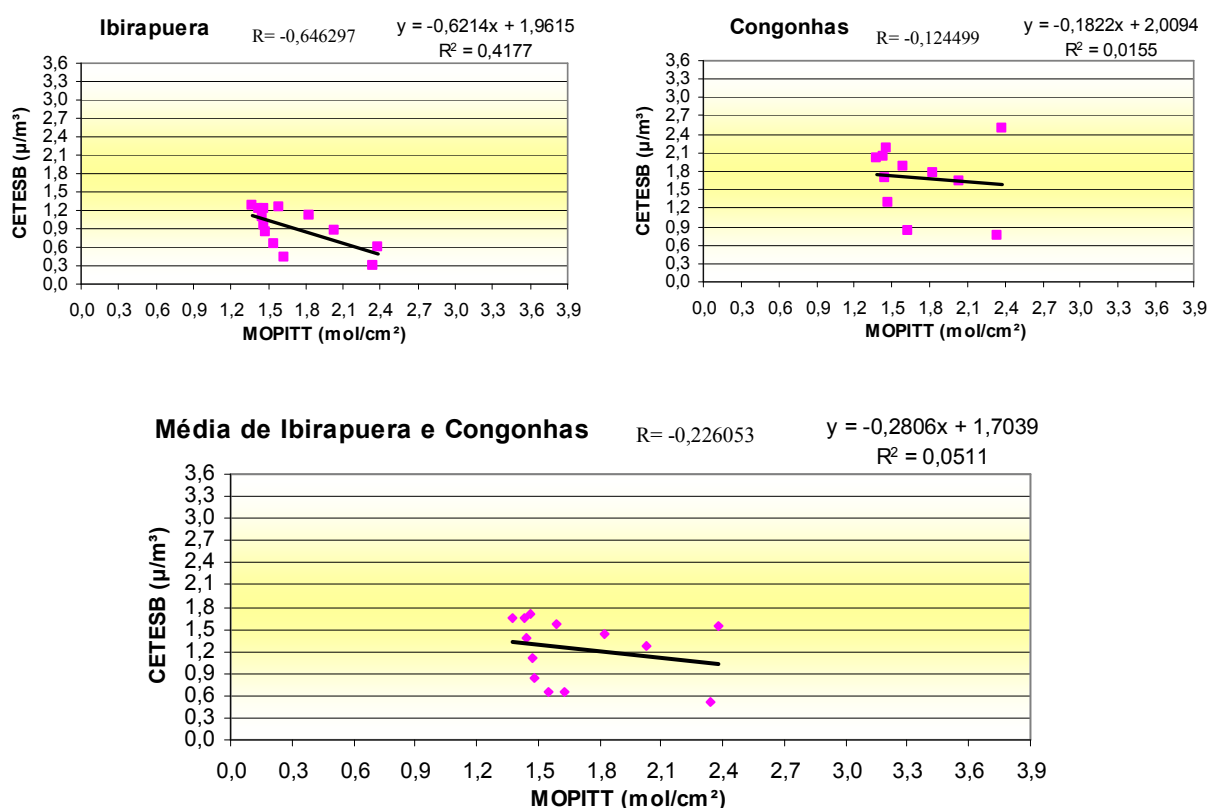


Figura 4: Correlação entre dados de Concentração de CO coletados pelas estações da CETESB (Ibirapuera e Congonhas) e àqueles captados pelo sensor MOPITT, quando a nebulosidade média, entre 10 h e às 11 h, foi menor ou igual à 1/8, nos meses de julho e agosto dos anos de 2004 e 2005.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho, nos resultados encontrados para todas as relações apresentadas, exceto para a Estação de Congonhas, o sinal do coeficiente angular da equação linear ajustada foi negativo, indicando uma tendência de correlação inversa. No caso em que foram extraídos os dados quando a média do total de nebulosidade era igual ou inferior a 1/8 do céu inteiro, verifica-se um coeficiente de correlação “ $r = -0,65$ ”, para os dados da estação no Ibirapuera.

O sinal do coeficiente angular da equação linear ajustada negativo pode estar relacionado a fatores como o nível de coleta e processamento dos dados, bem como a processos físicos associados a mudanças da dinâmica da Camada Limite Planetária (CLP). Portanto, é importante estudos sobre a influência da CLP na medição de variáveis associados à concentração de poluentes a fim de obter resultados mais realistas e fisicamente corretos.

#### AGRADECIMENTOS:

Os autores gostariam de agradecer ao ICEA pela cessão dos dados da Estação Meteorológica de Superfície de São Paulo, localizada no aeroporto de Congonhas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Castanho, A.D.A. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. 1999. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP - Estação Congonhas**. São Paulo: CETESB, 2004a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Em set. 2008.

\_\_\_\_\_. **Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP – Estação Ibirapuera**. São Paulo: CETESB, 2004b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Em set. 2008.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade ambiental**. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Em set. 2008.

Comando da Aeronáutica. Manual de Auxílio de Rotas Aéreas: **ROTAER**. Comando da Aeronáutica. Rio de Janeiro: Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2005.

Gerber, H.E.; Hindman, E.E.. **Light absorption by aerosol particles**. Virginia: Colorado State University, 1980. 420p.

Kaufman, Y.J.; Gitelson, A.; Karnieli, A.; Ganor, E.; Frase, R.S.; Nakajima, T.; Mattoo, S.; Hoben, B.N.. Size distribution and scattering phase function of aerosol particles retrieved from sky brightness measurements. **Journal of Geophysical Research**, v.99, n, D5, p 10341 – 10356, mai. 1994.

Kaufman, Y.J.; Tanré, D.; Boucher, O.. A satellite view of aerosols in the climate system. **Nature**, n 419, p 215 – 223, sep. 2002

Nascimento, L. F. C. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil: um estudo ecológico no Vale do Paraíba. **Rev. Bras. Saúde Matern. Infant.**, Recife, 4 (4): 367-374, out. / dez. 2004.

Perez, F. F. Meio Ambiente e Saúde: os efeitos da poluição do ar no desempenho físico – o caso do monóxido de carbono (CO). **Arquivos em movimento**, Rio de Janeiro, v.1, n. 1, p.55-63, 2005.

Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET). **A saúde e a poluição atmosférica** - Programa Economizar. Disponível em: <[http://www.conpet.gov.br/projetos/economizar\\_05.php?segmento=corporativo](http://www.conpet.gov.br/projetos/economizar_05.php?segmento=corporativo)> Em out. 2008.

Tarifa, J.R; Armani,G. **Mapa de Unidades Climáticas Urbanas do Município de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Climatologia e Biogeografia - FFLHC, 2001. Mapa color.,41 cm x 28cm. Escala 1:5.000.

Villaron,M.A.; Moura, J.A.P.; Araújo, R.T.;Pinto, M.L.A.;Correa,C.S. Estudo climático do Aeroporto Internacional de Congonhas com séries temporais de 50 anos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET) 15., 2008, São Paulo. **Anais...CD-ROM**.