

ANÁLISE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS LIMITAÇÕES ESTATÍSTICAS PARA MELHOR APLICAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

ANALYSIS OF AIR POLLUTION IN THE CITY OF SÃO PAULO AND STATISTICS LIMITATIONS FOR IMPROVED PUBLIC POLICY IMPLEMENTATION

Maurício José Serpa Barros de Moura

George Washington University e World Bank Group

Doutor em Administração Pública e Governo pela Fundação Getúlio Vargas – FGV- SP. Brasil.

Endereço: 2121 Pennsylvania Avenue. 20433 – Washington – Estados Unidos

Telefone: 1 (202) 473 0391

Email: mmoura@ifc.org

Lattes: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=K4235330H6>

Claudia Cerqueira do Nascimento

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie

Endereço: Universidade Presbiteriana Mackenzie. Rua da Consolação, 930

Higienópolis. 01302-907 - São Paulo, SP - Brasil

Email: claudiacerqn@gmail.com

Lattes: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=K4253586Y3>

Data de submissão: 05 Abr. 2011. **Data de aprovação:** 20 Abr. 2011. **Sistema de avaliação:** *Double blind review*. Centro Universitário UNA. Prof. Dr. Mário Teixeira Reis Neto, Prof^a. Dra. Wanyr Romero Ferreira

Resumo

O ar pode ser considerado um bem sem valor de mercado, e a estimação de valores decorrentes da utilização desse bem deve ser obtida através de métodos de valoração econômica para recursos ambientais. O objetivo deste trabalho é contribuir com a análise das características da poluição atmosférica, visando a apresentar uma ferramenta de mensuração dos custos econômicos decorrentes das consequências nocivas à saúde humana, utilizando uma regressão *stepwise* para melhor estimação do modelo utilizado. Este artigo mostra que embora existam correlações positivas entre os poluentes presentes na atmosfera e os níveis de internação por doenças respiratórias (49% para internação de idosos e 45,1% para internação de crianças), ainda há variáveis não disponíveis em termos de dados que poderiam atribuir um poder explicativo ainda maior ao modelo. Portanto conclui-se que a disponibilidade de algumas variáveis desagregadas é imprescindível para haver melhorias em termos de políticas públicas e, conseqüentemente, para melhorias em níveis de bem-estar da população.

Palavras chave: Poluição atmosférica. Limitações estatísticas. Políticas públicas.

Abstract

The air can be considered an asset without market value, and estimation of values arising from the use of such property must be obtained through methods of economic valuation for environmental resources. The objective is to contribute to the analysis of air pollution in order to provide a tool for measuring the economic costs arising from the harmful effects to human health, using a stepwise regression for improved estimation of the model used. This paper shows that although there are positive correlations between the pollutants in the atmosphere and levels of hospitalization for respiratory diseases (49% for hospitalization of the elderly and 45.1% for hospitalization in children), there are still variables not available in terms of data could assign a greater explanatory power to the model. Therefore it is concluded that the availability of disaggregated variables is essential to have improvements in terms of public policy and hence to improvements in levels of well-being of the population.

Keywords: Air pollution. Statistical limitations. Public policies.

1 Introdução

O ar, por se tratar de um recurso ambiental, é um bem passível de degradação. A poluição atmosférica pode ser, concomitantemente, proveniente das mais diversas fontes e atividades poluidoras, sejam essas econômicas ou não, com consequências para a vegetação e para o clima, causando danos materiais e efeitos deletérios na saúde e bem estar dos seres humanos. A questão da poluição atmosférica é problemática não apenas pela severidade dos seus efeitos sobre a saúde da população, mas também por conta da dificuldade na implementação de mecanismos de controle da emissão de poluentes – principalmente pelos veículos, que se configuram como fontes móveis de poluição e por isso mesmo de difícil controle.

Atualmente, a cidade de São Paulo tem sofrido com as consequências do grande volume de poluição presente na atmosfera, devido às suas atividades industriais e principalmente pela grande (e crescente) frota de veículos que circula diariamente pela cidade. O papel crucial dos veículos no sistema de transportes paulistano impinge um alto impacto a políticas de controle que afetem sua disponibilidade ou custo. Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), São Paulo é hoje a sexta cidade do mundo com o ar mais poluído, ficando atrás apenas da Cidade do México (México), Pequim (China), Cairo (Egito), Jacarta (Indonésia) e Los Angeles (EUA). Essa combinação adiciona complexidade à elaboração de políticas públicas sobre o tema.

Uma ferramenta da gestão que possibilite analisar quais variáveis devem ser utilizadas para um modelo de função dose-resposta é extremamente relevante tanto em termos de melhorias de bem-estar quanto em termos de aplicação de políticas públicas de maneira mais eficiente.

Este trabalho trata dos impactos da poluição do ar e das ferramentas para mensurá-los em termos de custos econômicos à saúde humana e da importância de uma melhor compreensão desses mecanismos para dar base a uma gestão de política pública mais eficiente. Trata, ainda, das dificuldades e limitações de realizar tal modelagem. Nesse contexto, o objetivo é apresentar instrumentos que permitam uma melhor aferição dos custos da poluição atmosférica, em particular os custos de internação hospitalar de crianças e idosos por problemas respiratórios relacionados à poluição. Mais especificamente, discute-se a seleção de variáveis para o modelo de função dose-resposta (que tem como propósito verificar qual o impacto da emissão de poluentes para a saúde da população) e a viabilidade de sua aplicação face à disponibilidade de dados. Busca-se, dessa forma, contribuir para o debate a respeito do tema de poluição atmosférica e seus impactos sobre a saúde pública, bem como para a formulação de políticas públicas mais eficientes a respeito do tema.

2 Características da poluição na Região Metropolitana de São Paulo

A poluição do ar é definida como:

a presença de um ou mais contaminantes na natureza, em quantidades que podem comprometer a qualidade deste recurso, tornando-o impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público danos materiais, à fauna, à flora ou prejudicial à segurança, ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (SERÔA DA MOTTA; MENDES, 1995, p. 166)

As fontes de poluição são divididas em estacionárias, móveis e naturais. As emissões provenientes de **fontes naturais** podem ser descritas como poluição ocasionada por algum tipo de reação natural, como vulcões ou reações químicas de substâncias existentes na atmosfera – é o caso da formação do ozônio (O_3), que surge da combinação da luz solar com elementos disponíveis no ar (VARELA, 2000). As **fontes estacionárias** correspondem a indústrias e queima de resíduos sólidos, entre outros. As **fontes móveis** são provenientes de todos os meios de transporte que utilizam queima de combustíveis fósseis (aviões, automóveis, motocicletas, ônibus, caminhões, motos etc.).

Os tipos de fontes implicam diferentes graus de dificuldade no controle de sua emissão de poluentes. O controle da poluição proveniente de fontes estáticas costuma ser de mais fácil implementação. Já no caso das fontes móveis, tanto a medição como o controle da poluição costumam representar tarefas mais complexas.

No caso de São Paulo, o agravamento da poluição atmosférica se dá principalmente por elementos referentes aos processos de urbanização (BIDERMAN, MEYER; GROSTEIN, 2004) e ao grande volume da frota veicular vigente. Os veículos automotores são considerados as principais fontes poluidoras nos grandes centros urbanos (KNIGHT; YOUNG, 2006), pois essas regiões concentram frota veicular maior, em comparação a cidades de menor porte. Segundo Moura (2007), o Brasil apresenta um número baixo de carros por habitantes (7,9 habitantes/veículo), se comparado com países como Estados Unidos (1,2 habitantes/veículo), Japão (1,7 habitantes/veículo), México e Argentina (ambos com 5,5 habitantes/veículo). Contudo uma parcela significativa (35,1% em 2007) dessa frota concentra-se no Estado de São Paulo (contra apenas 8,5% no Estado do Rio de Janeiro e 10,4% em Minas Gerais (MOURA, 2007). No caso da Região Metropolitana de São Paulo, segundo Relatório de Qualidade do Ar da CETESB (2007), em 2006 a frota veicular da cidade de São Paulo chegou a 7,3 milhões de veículos automotores em circulação – 1/5 da frota nacional, média de 1 carro para cada 2,6 habitantes. Além disto, sendo um importante centro comercial e econômico no país, circulam ainda pela cidade veículos provenientes de outras cidades, Estados e até outros países (VARELA, 2000).

A CETESB (2007) estima que dessa frota, em 2006, 430 mil veículos eram movidos a diesel, 870 mil eram motocicletas e mais de 6 milhões utilizavam o ciclo Otto¹. Em um estudo anterior (2006), a CETESB aponta que, em relação ao total dos poluentes presentes na atmosfera do município à época, a frota de veículos automotores da cidade de São Paulo é responsável pela emissão de 97% de monóxido de carbono, 97% de hidrocarbonetos, 96% de óxidos de nitrogênio, 40% de material particulado e 35% de óxidos de enxofre. Os principais poluentes, mensurados pela CETESB, através de sua rede de monitoramento, são o monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), Ozônio (O_3), dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado (MP_{10}).

Muito embora haja políticas de controle, a poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo é um fator preponderante em efeitos deletérios (MATSUMOTO, 2005), principalmente no que tange a saúde da população – embora também sejam relevantes os danos causados à fauna e flora locais, as mudanças climáticas e os impactos em materiais diversos. Para o caso dos efeitos deletérios da poluição na saúde humana, o Quadro 1

mostra as principais características dos poluentes presentes na atmosfera e seus respectivos efeitos.

QUADRO 1 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos gerais sobre a saúde
Material particulado (PTS ¹ , PI ² e fumaça)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas na atmosfera.	Processos industriais, veículos, fontes naturais.	Quanto menor a partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, asma e bronquite. Gera mal-estar, irritação nos olhos e pele, dor de cabeça e câncer pulmonar.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao odor proveniente da queima de palitos de fósforo. Pode ser transformado em SO ₃ , e em H ₂ SO ₄ .	Processos que utilizam a queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas do coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ .
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo automóveis, processos industriais e usinas termelétricas.	Aumento de sensibilidade à asma e à bronquite. É um intenso irritante dos brônquios e alvéolos. Podem aparecer conjuntivites e tosse. Dependendo do nível de exposição, pode resultar em edema pulmonar e morte prematura. É o responsável pelo <i>smog</i> .
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, insípido e inodoro	Combustão incompleta em veículos automotores.	A exposição ao CO resulta numa diminuição do suprimento do oxigênio para os tecidos do corpo devido a menor quantidade de oxigênio transportado. Pode haver redução da liberação de oxigênio para os tecidos e células. Assim, o cérebro e outras partes do sistema nervoso são afetados rapidamente pela intoxicação por CO.
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambiente e principal componente da névoa fotoquímica	É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os NO _x e compostos orgânicos voláteis.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração.

Fonte: Adaptado de CETESB (2006) e KNIGHT; YOUNG (2006).

(1) Partículas totais em suspensão – entre 100 e 10 micras

(2) Partículas inaláveis – menores que 10 micras

Vale notar que, como apontado por Martins *et al* (2002), mesmo com os poluentes abaixo dos níveis especificados pelos órgãos responsáveis², a população sofre suas consequências, o que implica que a poluição, mesmo abaixo dos níveis críticos, representa um elemento redutor de bem-estar.

Em termos econômicos, a poluição atmosférica gera externalidades negativas³, “pois seu efeito exprime um custo aos demais agentes que têm seu bem-estar reduzido devido à

poluição do ar” (KNIGHT; YOUNG, 2006, p.3). No caso de São Paulo, a já mencionada grande concentração de veículos (fontes móveis de poluição) tende a intensificar as externalidades negativas decorrentes desse problema.

3 Gestão ambiental: Ferramenta para mensuração econômica de bens ambientais

A formulação de políticas ambientais tem por base análises desenvolvidas sobre um sistema com três principais componentes: fonte poluidora, atmosfera e receptor (VARELA, 2000). Esse sistema corresponde a um ciclo no qual é possível observar toda a jornada de um poluente, desde seu “nascimento” até o momento em que esse poluente é “retirado” da atmosfera e é absorvido pelo receptor (ORSINI; ANDRADE, 1997; VARELA, 2000).

A implantação de políticas de gestão ambiental tem por finalidade controlar e prevenir danos ambientais. Diversos instrumentos que visam ao controle ambiental redundaram numa série de vantagens econômicas: “redução de custos, aumento de competitividade, abertura de novos mercados e diminuição das chances de empresas serem surpreendidas por algum tipo de ônus imprevisível e indesejável” (BARATA, KLIGERMAN; MINAYO-GOMEZ, 2007, p. 2). Sendo o ar um bem público⁴, torna-se ainda mais relevante a implementação de políticas públicas a respeito da poluição atmosférica, já que o mercado não teria como apresentar soluções exclusivamente privadas para esse problema. Contudo a formulação de políticas públicas a esse respeito depara-se com dificuldades de observação e mensuração dos custos sociais associados à poluição (VARELA, 2000).

Para estimar monetariamente as externalidades associadas à poluição atmosférica – fundamentando a formulação de políticas de gestão ambiental –, é necessário fazer uso de técnicas de valoração ambiental, “que nada mais são do que técnicas de análise de custo-benefício aplicadas para a questão do meio ambiente” (VARELA, 2000, p. 75). Mais do que isso, mensurar valor é “determinar o quão melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas devido a mudanças na quantidade de bens ou serviços ambientais” (SERÔA DA MOTTA, 2006, p. 13).

A questão da valoração ambiental já foi tratada por diversos autores (ORTIZ, 2003; FREEMAN, 1971; SERÔA DA MOTTA, 1998). De maneira simplificada⁵, pode-se dizer que o Valor Econômico dos Recursos Ambientais (VERA) é composto por valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU), de forma que:

$$\text{VERA} = \text{VU} + \text{VNU} \quad (1)$$

O valor de uso subdivide-se ainda em valor de uso direto (VUD), valor de uso indireto (VUI) e valor de opção (VO). Por fim, o valor de não-uso compreende o conceito de valor de existência (VE). Assim, a equação VERA pode ser reescrita:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (2)$$

O valor de uso direto (VUD) representa a utilização ou consumo diretos de um determinado recurso, tal qual a utilização de uma lavoura para o cultivo de vegetais. O valor de uso indireto (VUI) é aquele “advindo das funções ecológicas do recurso ambiental ou aquele derivado de uso *ex-situ* ao ambiente do recurso” (ORTIZ, 2003, p. 83). O valor de opção (VO) é a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos pela opção de utilizar-se ou não de um determinado recurso no futuro. Por fim, o valor de existência (VE) está relacionado a fatores subjetivos, tais como moralidade, cultura e ética, a fim de manter um recurso ambiental preservado pelo simples fato de sua existência, mesmo que não haja uso futuro do mesmo (ORTIZ, 2003; VARELA, 2000).

De acordo com teorias econômicas e de gestão ambiental já existentes sobre valoração (MENDES; SERÔA DA MOTTA, 1997; VARELA, 2000; ORSINI; ANDRADE, 1997), os métodos podem ser divididos em métodos de função de demanda e métodos de função de

produção. O método a ser utilizado dependerá do valor a ser captado, pois cada método tem suas limitações em relação à captação de valores de um determinado recurso.

Para os métodos de função de demanda, as variações na disponibilidade de um determinado recurso ambiental são capazes de alterar os níveis de bem-estar dos indivíduos. No caso dos métodos de função de produção, o recurso ambiental possui um valor por contribuir como insumo ou substituto na produção de um bem ou serviço privado. Devido a essa relação, é possível utilizar-se dos preços de bens e serviços privados para que o valor monetário do recurso ambiental seja estimado (SERÔA DA MOTTA, 1998). Esses métodos são os mais utilizados para a valoração de bens *non-market*, por tratarem de técnicas mais simplesmente aplicáveis, uma vez que bens já existentes no mercado são utilizados como preço-sombra.

O método de produtividade marginal (produção sacrificada) é capaz de estabelecer relações entre uma dada função de produção e possíveis alterações em um determinado bem ou serviço ambiental (VARELA, 2000; SERÔA DA MOTTA, 1998), observando a correlação entre essas variáveis e construindo uma função dose-resposta (DR). “Essa função relaciona o dano de um bem ou serviço ambiental e o efeito deste sobre a produção de determinado bem ou sobre os seres vivos” (VARELA, 2000, p. 77). Por exemplo: a função dose-resposta pode ser estimada no caso da poluição hídrica, sendo possível a verificação do nível de poluição nas águas (dose) e o aumento de doenças ocasionadas na saúde da população que se utilizaria dessa água (resposta). Analisando essa correlação, é possível verificar a quantidade de produção sacrificada (dias de trabalho perdido, por exemplo) devido às intenações ocorridas, tendo como causa a poluição hídrica.

4 Metodologia de Análise de Dados

O presente artigo pretende discutir a possibilidade de estimar, por meio de uma função dose-resposta, a correlação entre a poluição atmosférica do município de São Paulo e o número de intenações por doenças respiratórias, analisando as variáveis disponíveis nas bases de dados já existentes e suas limitações estatísticas. Para tanto, será utilizada a técnica *stepwise*, a fim de obter o melhor modelo de regressão do ponto de vista da correlação entre variáveis independentes e dependentes.

A construção de uma função dose-resposta requer dados relacionados à área da saúde e à concentração de poluentes na atmosfera. Embora haja, em tese, informações públicas a respeito dessas variáveis, a frequência, a abrangência e o grau de detalhe das informações disponíveis não correspondem ao necessário para a estimação de uma função dose-resposta. Na impossibilidade de acesso aos dados requeridos, busca-se, nesse exercício, apresentar variáveis cuja construção pode ser feita a partir de informações publicamente disponíveis, avaliando sua relevância bem como os problemas de estimação que derivam da escassez de dados, que representam um obstáculo relevante à formulação de políticas eficientes de gestão ambiental.

4.1 Variáveis Utilizadas

Dado o objetivo de caráter prático que permeia a realização deste trabalho – qual seja, a busca de técnicas que promovam maior eficiência na formulação de políticas públicas de gestão ambiental –, a seleção de variáveis buscou privilegiar o binômio relevância teórica – facilidade de obtenção de dados.

Para a construção de uma função dose-resposta em que a saúde “responde” às alterações nos níveis de poluição, foram definidos os conjuntos de variáveis descritos a seguir.

4.1.1 Variáveis relacionadas à saúde

Os dados utilizados para as variáveis de internações de idosos e crianças têm como fonte o Sistema Único de Saúde (SUS). O SUS é utilizado por cerca de 40% da população da Região Metropolitana de São Paulo (FREITAS, C. *et al.*, 2004). A fim de delimitar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana, foram coletados apenas dados referentes à morbidades provenientes de doenças respiratórias como um todo.

Segundo Cançado *et al* (2006), CETESB (2006), Gouveia *et al* (2006), Freitas *et al* (2002) e Martins *et al* (2001), os grupos mais suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição são principalmente as crianças e os idosos. Há ainda um terceiro grupo, que é constituído das pessoas com doenças cardíacas e respiratórias preexistentes. Dada a inexistência de dados disponíveis sobre os pacientes pertencentes ao terceiro grupo, a análise limita-se às internações de crianças menores de 5 anos e idosos com idade superior a 60 anos pelo Sistema Único de Saúde, entre janeiro de 2000 e dezembro de 2007.

Os dados obtidos referem-se apenas ao município de São Paulo, não utilizando dados de municípios vizinhos, conforme disponível na base de dados da CETESB.

A CETESB dispõe de uma rede de monitoramento em todo o Estado de São Paulo. Contudo o maior número de estações encontra-se disponível na capital paulista. Essas estações no município de São Paulo são dispostas em diferentes bairros; no entanto, devido a diferenças na configuração de cada estação, não há disponibilidade de informações sobre os 5 principais poluentes em todas as regiões.

4.1.2 Variáveis diretamente relacionadas à poluição

Os dados sobre emissão de poluentes foram obtidos da própria CETESB, que mantém boletins diários de qualidade do ar para a Região Metropolitana de São Paulo e municípios vizinhos, provenientes das medições realizadas diariamente pela sua rede de monitoramento. Os poluentes mensurados e disponíveis nos boletins são: material particulado inalável (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Os dados emitidos pela CETESB têm periodicidade diária, sendo necessária a aplicação da moda – haja vista a característica da dispersão dos dados obtidos –, para fins de condensar as informações sobre os poluentes em periodicidade mensal (MURTEIRA, 1993; PEDROSA; GAMA, 2004). Dessa forma, foram construídas séries mensais (uma para cada poluente), correspondendo à moda da quantidade diária do poluente presente na atmosfera, de acordo com a mensuração da CETESB, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2007.

4.1.3 Variáveis de controle estatístico

Seguindo a literatura a respeito dos modelos de função dose-resposta, são utilizadas como variáveis de controle a temperatura do ar (em °C), uma *dummy* de estação do ano (onde se assume verão entre os meses de outubro e abril e inverno durante maio e setembro) e a umidade relativa do ar (SERÔA DA MOTTA; MENDES, 1995; GOUVEIA *et al*, 2006; FREITAS *et al*, 2004; MARTINS *et al*, 2001) As variáveis de controle têm por finalidade controlar estatisticamente os efeitos das variáveis explicativas, por exemplo: a temperatura afeta as variáveis independentes (os poluentes), pois as variações na temperatura estão diretamente ligadas às características físicas dos poluentes e a seus níveis de concentração na atmosfera. Dessa forma, a não-inclusão das variáveis de controle no modelo traria resultados mais distantes da realidade (GUJARATI, 2006). Os dados meteorológicos foram obtidos por meio do IAG/USP e estão agrupados em médias mensais.

4.2 Análise das Variáveis

Após a discussão sobre a escolha das variáveis a serem utilizadas no modelo de função dose-resposta, essas variáveis serão analisadas do ponto de vista estatístico-econométrico, de forma a demonstrar se a amostra disponível para o presente estudo é consistente para a pretensão do mesmo.

Uma questão a ser considerada na construção de um modelo de regressão é a presença de multicolinearidade entre as variáveis relacionadas aos poluentes. Essa multicolinearidade existe devido ao fato de que cada poluente acarreta um tipo de dano à saúde humana, mas a associação desses poluentes também acaba por acarretar outros efeitos deletérios à saúde.

Para tanto, a técnica *stepwise* tem por objetivo construir uma sequência de modelos de regressão pela adição ou remoção de variáveis de uma regressão múltipla, de modo a obter melhor precisão na resposta à variável dependente.

A seleção das variáveis é expressa em termos de um teste parcial *F*. A partir desse teste parcial, inicia-se a formação de um modelo com a variável preditora que tenha a mais alta correlação com a variável dependente. A análise é então finalizada, quando o *F* parcial da próxima variável, que poderia ser incluída, torna-se menor que o valor crítico.

As TAB. 1 e 2 a seguir mostram, respectivamente, os resultados do método *stepwise* para as variáveis dependentes “internação de idosos” (*internid*) e “internação de crianças” (*interncr*).

TABELA 1: Resultados de regressão *stepwise* para variável dependente “Internação de Idosos”

Model	Change Statistics									
	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	Durbin-Watson
1	,393 ^a	,154	,145	186,02	,154	16,958	1	93	,000	
2	,499 ^b	,249	,233	176,22	,095	11,629	1	92	,001	
3	,599 ^c	,359	,338	163,70	,110	15,618	1	91	,000	
4	,681 ^d	,464	,440	150,59	,104	17,533	1	90	,000	
5	,700 ^e	,490	,462	147,60	,027	4,684	1	89	,033	
6	,691 ^f	,478	,455	148,57	-,013	2,189	1	91	143	1,063

a. Predictors (Constant), TEMP
 b. Predictors (Constant), TEMP, SO
 c. Predictors (Constant), TEMP, SO, NO
 d. Predictors (Constant), TEMP, SO, NO, MP
 e. Predictors (Constant), TEMP, SO, NO, MP, UMD
 f. Predictors (Constant), TEMP, NO, MP, UMD

TABELA 2: Resultados de regressão *stepwise* para variável dependente “Internação de Crianças”

Model	Change Statistics									
	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	Durbin-Watson
1	,554 ^a	,307	,299	485,71	,307	41,166	1	93	,000	
2	,597 ^b	,356	,342	470,73	,049	7,015	1	92	,010	
3	,651 ^c	,424	,405	447,63	,068	10,739	1	91	,001	
4	,672 ^d	,451	,427	439,35	,027	4,461	1	90	,037	1,027

a. Predictors (Constant), TEMP
 b. Predictors (Constant), TEMP, NO
 c. Predictors (Constant), TEMP, NO, MP
 d. Predictors (Constant), TEMP, NO, MP, O3

Obtidos esses resultados, foi verificado que as variáveis SO, CO e ESTA (*dummy* referente à estação do ano) foram retiradas do modelo de regressão devido à baixa correlação com a

variável dependente “internação de idosos” (veja TAB. 1 para esses resultados). Da mesma forma, a TAB. 2 mostra que as variáveis retiradas foram: SO, CO, UMD (umidade relativa do ar) e ESTA.

Após aplicação do método *stepwise*, foram estabelecidos os novos indicadores de poluição, considerados variáveis independentes nos modelos de regressão múltipla abaixo:

$$Internid = \beta_1 + \beta_{temp} + \beta_{NO} + \beta_{MP} + \beta_{UMD} + \epsilon \quad (3)$$

Onde:

β_1 representa um coeficiente de regressão desconhecido (uma constante);

β_{temp} representa as temperaturas médias no período;

β_{NO} representa os níveis de NO₂ do período;

β_{MP} representa os níveis de MP10 no período;

β_{UMD} representa as médias de umidade relativa do ar no período.

Similarmente, para a internação de crianças teremos:

$$Interncr = \beta_1 + \beta_{temp} + \beta_{NO} + \beta_{MP} + \beta_{O3} + \epsilon \quad (4)$$

Onde:

β_1 representa um coeficiente de regressão desconhecido (uma constante);

β_{temp} representa as temperaturas médias no período;

β_{NO} representa os níveis de NO₂ do período;

β_{MP} representa os níveis de MP10 no período;

β_{O3} representa os níveis de O₃ no período.

Construídos os modelos de regressão utilizados para cada uma das variáveis dependentes a que o presente artigo se propõe analisar, verificamos os resultados na próxima seção.

4 Análise dos Resultados

Verificadas as validades dos testes realizados, é possível afirmar que o modelo estabelecido com as variáveis preditoras tem poder explicativo de 49,0% (ver TAB. 3) para os casos de internações de idosos e 45,1% (ver TAB. 4) no caso de internações de crianças. Em outras palavras, o poder explicativo das variáveis preditoras poluentes é relevante do ponto de vista estatístico. Além disso, pode-se ainda considerar o modelo robusto, pois ao rodar tais regressões para variáveis dependentes distintas e com as mesmas explicativas, tem-se que essas últimas permaneceram significantes ao nível de 5% nos dois casos, inclusive apresentando desvios-padrões relativamente pequenos se comparados aos coeficientes.

TABELA 3: Resultado do modelo de regressão “Internação de Idosos”

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	Durbin-Watson
1	,700 ^a	,490	,462	147,60	,490	17,132	5	89	,000	1,079

a. Predictors: (Constant), TEMP, NO, MP, UMD.

TABELA 4: Resultado do modelo de regressão “Internação de Crianças”

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	Durbin-Watson
1	,672 ^a	,451	,427	439,35	,451	18,493	4	90	,000	1,027

a. Predictors: (Constant), TEMP, NO, MP, O3.

A relação de causalidade em relação aos níveis de internação por doenças respiratórias devido à concentração de poluentes chega em torno de 50%, se considerados os dois modelos. Esse valor demonstra que há correlação direta entre as variáveis dependentes e as variáveis independentes, além de existência de poder explicativo.

Apesar de haver correlação entre os níveis de internação por doenças respiratórias e os níveis de concentração de poluentes na atmosfera paulistana, esta não foi maior devido à existência de outros fatores a serem considerados, mas que não puderam ser mensurados ou obtidos para este estudo, pois estes não são facilmente observáveis principalmente devido à escassez de dados desagregados. A utilização de dados agregados justifica o resultado do R^2 , fazendo com que o modelo perca graus de liberdade e, por conseguinte, poder explicativo.

O método de valoração de produção sacrificada requer informações do grau de influência da poluição para um indivíduo específico. Nesse sentido, supondo ser Y o número de internações de cada um dos i indivíduos de uma amostra, seria necessário saber se o poluente x_j afetaria o indivíduo i , de modo que o dado necessário para o cálculo da função dose-resposta seria o grau de exposição de cada indivíduo i aos poluentes x_j . Para fins de melhorar as estimativas do modelo, a obtenção de dados primários sobre o local de moradia ou de trabalho do indivíduo i , levando a agregação do número de internações, aumentaria o poder explicativo da função dose-resposta.

O total de internações pode ser explicado ainda por inúmeros outros fatores que não apenas a exposição aos poluentes, dentre eles: informações sócio-econômicas dos pacientes, local de moradia, local de trabalho, faixa salarial, idade, entre outros, e também de acordo com seu comportamento em relação à saúde, como tabagismo e histórico de doenças preexistentes.

Contudo pudemos notar que a poluição, embora seja um fator deletério à saúde, por si só, não é capaz de explicar sozinha os aumentos de internações no município de São Paulo, embora constituam parte importante do quadro de variáveis explicativas.

4.1 Possíveis Melhorias em Termos de Política Ambiental e Pública

Do ponto de vista da gestão pública, a grande dificuldade na obtenção de dados referentes às internações é um obstáculo e limitação à eficiência dessas políticas. A própria escassez de informações desagregadas nos bancos de dados existentes caracteriza um problema de gestão. Não obstante, um outro conjunto de problemas vem somando ao anterior: a subnotificação dos casos de doenças respiratórias, uma vez que muitas pessoas afetadas pela poluição buscam atendimento no sistema privado de saúde e outras tantas sequer chegam a buscar tratamento médico; muitos dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde são confundidos com sintomas de outras doenças corriqueiras, tais como resfriados, e não são percebidos pelo doente como resultado da poluição. Além disso, pessoas oriundas de outros municípios e Estados buscam tratamento em São Paulo, dificultando ainda mais a compilação dos dados e, conseqüentemente, a eficiência na aplicação de políticas públicas.

Diferentemente de métodos utilizados para gestão de recursos hídricos, onde os aspectos econômicos podem ser mensurados tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, possibilitando, por exemplo, a utilização de mercados específicos para esse bem, como direito de uso e o de certificado de poluição (PIZAIA, 2006), os mecanismos de controle para as emissões tornam-se um pouco mais complexo devido a uma série de fatores, dentre os quais pode ser citada a própria característica física do ar.

Como forma de controle da poluição do ar, o estabelecimento de mecanismos de taxações sobre emissões apresenta diversas vantagens: “entre elas, pode-se destacar a sua flexibilidade, os custos transacionais relativamente baixos, o bom potencial de incentivo a

mudanças de comportamento e a possibilidade de aumento da arrecadação fiscal” (MENDES e SERÔA DA MOTTA, 1997, p. 10). Segundo Mendes e Serôa da Motta (1997), países da Europa e Ásia já adotam a taxaço sobre compra, venda e uso de veículos, onde a tributação varia de acordo com as características do veículo em questão. Uma grande vantagem desse método de controle é não haver a necessidade de mensuração da emissão de cada poluidor (no caso da cidade de São Paulo, a mensuração dos poluentes nos principais poluidores incidiria sobre 7,3 milhões de veículos).

Entretanto implantar políticas de controle, quaisquer que sejam elas, é uma tarefa complexa, que inicia desde sua elaboração até o encontro com questões político-institucionais locais e ainda com as características urbano-ambientais de uma determinada região (SANTOS *et al*, 2005).

Uma especificação mais adequada dos custos para os males causados pela poluição atmosférica auferiria aumento de eficiência para as políticas propostas. Utilizando-se o exemplo encontrado na Grécia (MENDES; SERÔA, 1997), que adotou o método de taxaço sobre veículos automotores após pesquisas sobre as interrelações entre poluentes e consequências dos mesmos, verifica-se que se aumentou o número de automóveis que utilizam catalisadores (o que os isenta de taxaço), aumentando também a incidência de sucateamento da frota antiga utilizada (cerca de 300 mil carros até 1997). Concomitantemente a essas medidas, houve uma melhoria considerável na qualidade do ar das grandes cidades gregas.

Assim, tomando como base o exemplo internacional de controle de emissão de poluentes, é possível verificar que há diferentes formas de gerir as emissões. Contudo a falta de políticas em forma de incentivo contra a poluição em uma cidade como São Paulo pode acarretar cada vez menores chances de obter resultados satisfatórios com as políticas existentes. Aliado a isso, a escassez de dados é um problema latente, isso representa dizer que a falta de informações que busquem demonstrar as relações existentes entre os níveis de poluição e seus efeitos na saúde da população acarreta implantação de políticas insuficientes em relação ao controle das emissões.

Contudo a adoção de uma política como esta implica custos, seja para o setor público (que abre mão de receita de impostos por conta da isenção proposta), seja para os habitantes da cidade (que precisam substituir seus veículos ou arcar com maiores custos de transporte, no caso de aumento de taxaço de poluentes). Isso reforça a importância de uma mensuração adequada dos benefícios associados à redução da poluição, a fim de selecionar de maneira mais adequada tanto a magnitude do incentivo a ser concedido como a que tipo de produto / motor / combustível ele deve ser direcionado. Dessa forma, fica evidente a necessidade de um esforço para a produção e/ou obtenção de dados que permitam uma estimativa mais acurada da relação entre poluição e custos para a saúde, a fim de fundamentar melhor as decisões de política pública nessa área.

5 Conclusão

A poluição do ar é um problema latente de gestão ambiental e política pública na cidade de São Paulo, capaz de gerar efeitos diversos, dentre eles as doenças do trato respiratório. Entretanto há a necessidade de avaliação de outros fatores, dentre eles a situação sócio-econômica dos pacientes internados. A falta desse tipo de investigação mais acurada tem se mostrado um entrave à obtenção de uma estimativa dos custos incorridos.

A gestão ambiental, nesse caso, deixa de ser apenas uma medida de bem-estar da população em geral e passa a ser uma forma de avaliar e melhorar políticas públicas existentes em termos de redução de emissão de poluentes. Ademais a esse fator, uma estimativa mais precisa da relação entre essas variáveis seria importante para a implantação de novas políticas ou melhorias nas políticas já existentes, fazendo com que

fossem suficientes para a redução de custos em termos de saúde pública, desonerando o Estado do volume de internações ocorridas no Sistema Único de Saúde. Ainda, uma correta valoração em termos econômicos dos impactos da poluição do ar na saúde humana repercutiria também nos setores privados, uma vez que a principal fonte poluidora hoje em São Paulo são os veículos.

Vale ressaltar ainda a possibilidade de uma redução de gastos por parte do Estado em conter as internações provenientes de consequências da poluição atmosférica, além de aumentar a arrecadação com a implantação de taxações sobre compra/venda de veículos automotores. Sendo assim, fica evidente a importância de um controle e análise consistente das informações para melhorar, em diversos aspectos, a qualidade de vida não somente da cidade de São Paulo, mas de todos os lugares afetados – principalmente em níveis tão elevados – pela poluição ambiental.

Notas

¹ O ciclo Otto diz respeito ao motor existente na grande maioria dos veículos de passeio vendidos. Este consiste em um ciclo termodinâmico, que é a base para o funcionamento dos motores de combustão interna, onde é necessária a queima de combustíveis (fósseis ou não) para sua ignição. (KNIGHT; YOUNG, 2006)

² Atualmente, o principal órgão responsável nacional pelo controle e estipulação de níveis de emissão de poluição é o Conselho Nacional do Meio-Ambiente – CONAMA.

³ O conceito econômico de externalidade corresponde aos efeitos de uma situação em que as ações de alguns agentes interferem no bem-estar dos demais, sem que haja a devida incorporação dos benefícios ou custos criados por parte dos responsáveis por essas ações (VARIAN, 2000; KNIGHT; YOUNG, 2006).

⁴ Bens públicos são aqueles disponíveis, de forma não-excludente (bens dos quais os indivíduos não podem ser privados de consumir, de forma a ser difícil algum tipo de cobrança sobre sua utilização) e não-rival (bens cujo custo marginal é zero para um consumidor adicional), para todas os indivíduos, como a defesa nacional, ou mesmo o ar (PINDYCK; RUBINFELD, 2004; VARIAN, 2000).

⁵ Os conceitos a seguir baseiam-se na forma de apresentação de Serôa da Motta (1998), exceto quando mencionado em contrário.

Referências

BARATA, M. M. L.; KLIGERMAN, D. C.; MINAYO-GOMEZ, C. A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232007000100019&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 12 Jul 2008.

BIDERMAN, C.; MEYER, R. M. P.; GROSTEIN, M. D. *São Paulo Metrópole*. São Paulo: Edusp, 2004.

CADASTRO INTERNACIONAL DE DOENÇAS. 10 rev (CID-10). Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/cid10/webhelp/cid10.htm>. Acesso em 14 abr 2008

CANÇADO, J. E. D. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *J. Bras. Pneumol*, 2006; 32 (Supl 1): S5-S11.

CETESB – Relatório de Qualidade do Ar da Cidade de São Paulo, 2006.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução 003/1990*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 12 dez 2007.

FREEMAN III, A. M. Air Pollution and Property Values: A Methodological Comment. *The Review of Economics and Statistics*, v. 53, n 4, p. 415-416, Nov., 1971,

FREITAS, C. *et al.* Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. *Revista Saúde Pública*, v.38, n.6, p. 751-757, 2004

GOUVEIA, N., *et al.* Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Caderno Saúde Pública*, v.22, n.12, p.2669-2677, Dez, 2006.

GUJARATI, D. *Econometria Básica*. 4 ed, Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – USP (IAG/USP). <http://www.iag.usp.br/>

KNIGHT, V. A.; YOUNG, C. E. F. *Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos na RMSP*. XXXIV Encontro Nacional de Economia - ANPEC, Salvador, 2006. www.anpec.org.br/encontro2006/artigos/A06A069.pdf

MARTINS, L. C. *et al.* Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista Saúde Pública*, v.36, n.1, p. 88-94, 2002.

MATSUMOTO, G. S. *Efeito da poluição atmosférica urbana da cidade de São Paulo nas células sanguíneas e no sistema cardiopulmonar. Estudo morfofuncional em camundongos in vivo*. Tese de Mestrado apresentada à USP, 205 f. Tese (Mestrado) – Fisiopatologia Experimental, USP, São Paulo, 2005.

MENDES, E. M.; SEROA DA MOTTA, R. Instrumentos Econômicos para o Controle Ambiental do Ar e da Água: Uma Resenha da Experiência Internacional. *Texto para Discussão em IPEA*. Maio de 1997. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/1997/td_0479.pdf> Acesso em 12 jun. 2008.

MOURA, M. *Data & Varejo: o Comércio Brasileiro em Números*. São Paulo: Gouvêa de Souza, 2006.

MURTEIRA, B. J. F. *Análise Exploratória de Dados: Estatística Descritiva*. Lisboa, McGraw-Hill, 1993.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Junho de 2005. Acesso em 03 de maio de 2008.

ORSINI, C.; ANDRADE, M. F. Panorama da poluição do ar no Brasil, in REBOUÇAS, A. C. (org) (1997): *Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil*: Rio 92 Cinco anos depois. São Paulo, IEA-USP, Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997, p. 07-57.

PEDROSA, A. C.; GAMA, S. M. A. *Introdução Computacional à Probabilidade e Estatística*. Porto: Porto Editora, 2004.

PIZAIA, M. G. *Gestão Ambiental: Discutindo os Princípios Econômicos da Cobrança da Água*. In: 30º Encontro da ANPAD (ENANPAD) – Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Salvador. Anais do 30º Encontro da ANPAD (ENANPAD) - Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, 2006.

SANTOS, M. E. P. *et al.* *A Construção de um Sistema de Indicadores Urbano-Ambientais como Instrumento de Política Urbano-Ambiental: a Experiência do Dique de Campinasi em Salvador-Bahia*. In: 29º Encontro da ANPAD (ENANPAD) – Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, Brasília - DF. Anais do 29º Encontro da

ANPAD (ENANPAD) - Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração, 2005.

SERÔA DA MOTTA, R. On Estimating Air Pollution Control Benefits from Land Value Studies. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 1, p. 74-83, May, 1974

SERÔA DA MOTTA, R. *Manual para valoração econômica de recursos ambientais*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998.

SERÔA DA MOTTA, R. *Economia Ambiental*. Rio de Janeiro: FGV editora, 2006.

SERÔA DA MOTTA, R.; MENDES, A. P. F. Custos de Saúde associados à poluição do ar no Brasil. *Pesquisa de Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, v. 25, n 1, p. 165-198, Abr, 1995.

VARELA, C. A. *Custos de não-controle da poluição do ar na cidade de São Paulo: 1990-1998*. Tese de Doutorado apresentada à FGV-SP, 163 f. Tese (Doutorado) - EAESP, FGV, São Paulo, 2000.

VARIAN. H. R. *Microeconomia: Princípios Básicos – Uma Abordagem Moderna*. 4 tiragem. Rio de Janeiro: Campus, 2000.