



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

O CUSTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA CIDADE DE VOLTA REDONDA, RJ, BRASIL

The cost of atmospheric pollution at Volta Redonda city, RJ, Brazil

Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva

Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Email:
robertapaz2003@yahoo.com.br

Palavras-chave: Método dos custos evitados, Poluição do ar, Gestão Ambiental

keywords: Method of avoided costs, air pollution, Environmental Management

Título abreviado: Custo da poluição atmosférica na Volta Redonda

Abstract:

The atmospheric pollution is considered to be one of the most harmful sorts of pollution to human, animal and vegetal health. The adoption of mechanisms capable of decreasing or even eliminating it passes through the necessity of having data about the impacts it provokes. Environmental economy constitutes an area of the economy that aims to study the problems that surround the environment, aiming to provide useful information to the resolution of the environmental problematic. Inside its

theoretical framework one finds the set of methods utilized to captivate the value of the environmental resources, thus providing data to cost-benefit analysis that embody the administration of the environmental assets. The Avoided Cost-Benefit Method is one of these methods. In this work, it was applied to estimate the monetary cost generated by air pollution in the city of Volta Redonda, RJ. From the use of econometric models a function dose-answer was used that obtained as a result the number of cases of hospital morbidity by lung diseases (selected), in the Unique Health System, associated with the levels of pollutants dispersed in the atmosphere, to, from then on, calculate their costs by means of the computation of the mean value charged for each internment. As a result, besides the confirmation of the existence of a relation between internment by lung diseases and levels of pollution, the costs of these internments were estimated as R\$ 237.695,47, in the period 2005-2007, this value being a proxy to the cost generated by pollution. In spite of the estimation of part of the value of the costs generated by pollution, one may not affirm that it represents its total value, since the performance of the method underestimates several impacts provoked by pollution beyond its limits, to evaluate the own impacts it proposes itself to do.

Resumo:

A poluição atmosférica é considerada um dos tipos de poluição mais nocivos à saúde humana, animal e vegetal. A adoção de mecanismos capazes de diminuí-la ou mesmo eliminá-la passa pela necessidade de que se tenham informações acerca dos impactos causados pela mesma. A economia do meio ambiente constitui uma área da economia que busca estudar os problemas que cercam o meio ambiente, buscando fornecer informações úteis à resolução da problemática ambiental. Dentro do seu arcabouço teórico, tem-se o conjunto de métodos utilizados com o objetivo de captar o valor dos recursos ambientais fornecendo assim, dados para análises custo-benefício que envolvam a gestão dos ativos ambientais. O Método dos Custos Evitados é um desses métodos. Neste trabalho, o mesmo foi aplicado com vistas a estimar o custo monetário gerado pela poluição do ar na cidade de Volta Redonda-RJ. A partir do emprego de modelos econométricos estimou-se uma função

dose-resposta que obteve como resultado o número de casos de morbidade hospitalar por doenças respiratórias (selecionadas) no Sistema Único de Saúde associados aos níveis de poluentes dispersos na atmosfera, para então calcular o custo dos mesmos através do cômputo do valor médio cobrado por cada internação. Como resultado, além da comprovação da existência de relação entre as internações por doenças respiratórias e os níveis de poluição, foram estimados os custos dessas internações no período de 2005 a 2007 como R\$ 237.695,47, sendo esse valor a proxy para o custo gerado pela poluição. Apesar de se estimar parte do valor gerado pela poluição, não se pode afirmar que o mesmo represente o valor total da mesma, já que a operacionalização do método subestima diversos impactos causados pela poluição, além dos limites do mesmo para avaliar os próprios impactos a que se propõe.

INTRODUÇÃO

O atendimento das demandas geradas pelo crescimento econômico e a ampliação das necessidades de consumo da população dão uma nova dinâmica ao contexto de exploração do meio ambiente. Maiores níveis de utilização dos recursos naturais e a convicção de que os recursos naturais são finitos (com o risco de perdas irreversíveis potencialmente catastróficas), demandam maior atenção na gestão do uso desses recursos, sendo os métodos de valoração ambiental ferramentas indispensáveis nesse processo.

Nesse artigo será apresentado o resultado obtido a partir da aplicação de um dos métodos de valoração econômica ambiental, o método dos custos evitados, com vistas à captação de

uma parcela do valor econômico causado pela poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda, RJ, Brasil.

A aplicação do método se justifica pela necessidade de se obter dados que possam ser utilizados como base para a adoção de políticas ambientais mais bem sucedidas.

A POLUIÇÃO DO AR EM VOLTA REDONDA

O estudo realizado neste trabalho tem como referência a cidade de Volta Redonda. Localizada na Região do Médio Paraíba ao Sul do estado do Rio de Janeiro (encontrando-se a 125 km da cidade do Rio de Janeiro), a cidade ocupa uma área de 182317 km², sendo 54 km² na região urbana e 128 km² na zona rural.

A população estimada em 2008 foi de 259811 habitantes, o que a torna a maior cidade da região Sul Fluminense e a terceira maior do interior do estado.

Na cidade está localizada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), maior siderúrgica da América Latina, o que faz com que o setor industrial seja o mais representativo para a economia local, apesar do desenvolvimento do comércio e do setor de serviços. A diversificação das atividades contribui para o crescimento da população flutuante da cidade, que chega a até 330000 habitantes por dia.

Segundo estudo realizado pelo IBGE, Volta Redonda é a segunda cidade do Estado do Rio de Janeiro com o maior potencial poluidor, ficando apenas atrás da capital do estado (SOR

et al., 2008). Esse resultado se deve as atividades industriais concentradas na cidade, com destaque para as atividades de metalurgia e de minerais não metálicos.

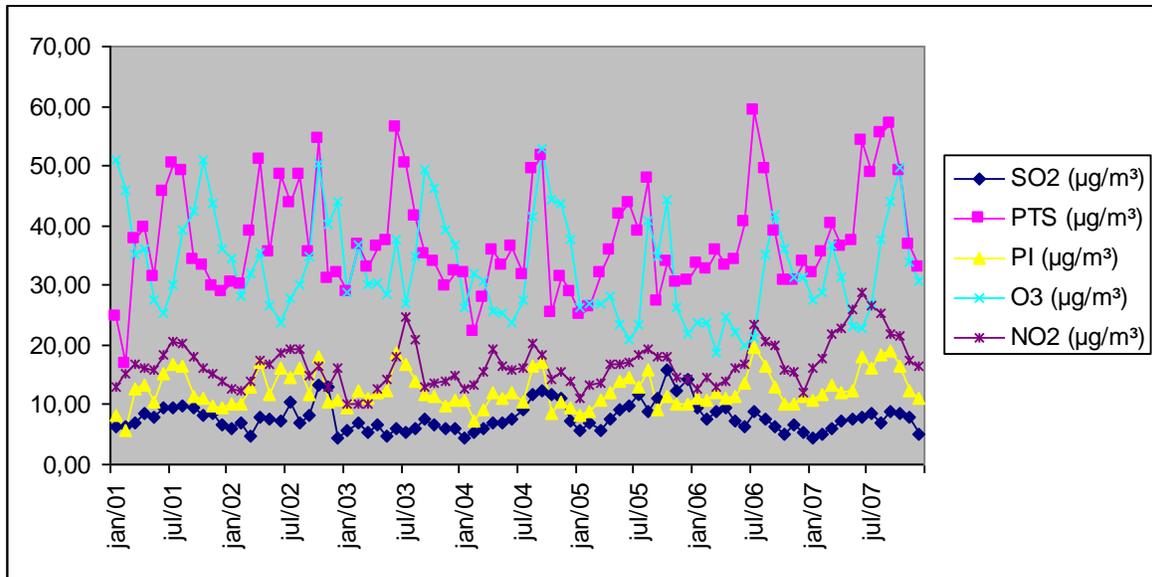
Além dos poluentes emitidos pelas atividades industriais desenvolvidas na cidade e região, são emitidas grandes quantidades de poluentes devido ao intenso tráfego de veículos.

Sendo assim, as políticas de fiscalização e controle das atividades industriais e o monitoramento das condições ambientais são de extrema importância.

Na cidade, os níveis de poluição do ar são monitorados por três estações de monitoramento controladas pela CSN e pelo INEA, que é responsável pela análise dos dados e adoção de medidas que levem ao controle da emissão por parte dos agentes poluidores. A partir desses dados, são gerados boletins diários sobre as condições do ar.

As estações são capacitadas a medir os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão (PTS), Material Particulado (ou partículas inaláveis) (MP 10), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de nitrogênio, hidrocarbonetos totais, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃).

A Figura 1 apresenta dados referentes às médias mensais de concentração de poluentes selecionados para o período de 2001 a 2007.



Fonte: Elaborado com base nos dados fornecidos pelo INEA.

Figura 1. Concentração mensal de poluentes entre 2001 e 2007, Volta Redonda, RJ

Figure 1. Monthly pollutant concentration, period 2001 to 2007, Volta Redonda, RJ

Uma primeira observação dos dados permite concluir sobre o comportamento sazonal das variáveis, sendo que as maiores concentrações médias dos poluentes SO_2 , PTS, PM 10 e NO_2 ocorrem nos meses de inverno (21/06 a 23/09) e as menores nos meses do verão (21/12 a 21/03).

Tal sazonalidade se deve ao fato de que diferentes condições climáticas constituem condições mais ou menos favoráveis à dispersão de poluentes emitidos na atmosfera. Sendo assim, as quantidades de gases e partículas emitidas na atmosfera adicionam-se a fatores como as condições de temperatura, umidade, velocidade dos ventos, entre outras características, para a determinação da qualidade do ar.

A elevação dos níveis de poluentes na atmosfera geram diversos impactos na natureza (conforme já descrito anteriormente). A valoração dos mesmos faz-se necessária para que se criem bases para gestão consciente e eficiente dos recursos atmosféricos.

A valoração econômica dos impactos causados pela poluição atmosférica, de modo geral, é baseada na mensuração dos custos de saúde gerados pela mesma. No presente trabalho, será aplicado o método dos custos evitados (MCE) para estimar tal custo.

Valor Econômico do Ar pelo Método dos Custos Evitados (MCE)

Para que os gastos incorridos com o tratamento das doenças causadas pela poluição atmosférica sejam calculados tem-se, primeiro, que determinar uma função dose-resposta que possibilite a determinação do número de casos da doença que estejam associados à poluição atmosférica.

A estimação dessa função constitui-se num estudo ecológico de séries temporais, que se caracteriza por envolver um número de eventos ocorridos de uma determinada variável (por exemplo, doenças respiratórias), num dado período de tempo, em uma região geográfica definida. Seu objetivo principal é determinar uma possível associação entre as variações na intensidade da exposição e na frequência das doenças (Morgenstern, 1982).

Diversos estudos já foram realizados a partir da análise ecológica de séries temporais. Dentre esses estão Braga et. al. (1999), Cançado (2003), Coelho (2007), Conceição et. al. (2001), Saldiva et. al. (1995), Schwartz (1993), Schwartz (1994), Schwartz et. al. (1996).

No caso do presente estudo, se trata de avaliar a associação entre o número de casos de doenças respiratórias (variável dependente) com as concentrações dos poluentes selecionados emitidos na atmosfera e as condições de temperatura (variáveis independentes), através da estimação do modelo de Regressão de Poisson. Esse modelo é aplicável nos casos em que o regressando é do tipo contável (Gujarati, 2006).

O número diário de internações é um evento de contagem que, em geral, apresentam distribuição de Poisson, o que justifica a escolha do referido modelo para esse estudo.

A equação representativa para esse modelo é:

$$\ln \lambda_t = \alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i X_{it} \quad (1)$$

onde $\ln \lambda_t$ é o logaritmo natural da variável dependente (no caso do presente estudo, o número diário de internações), X_{it} são as variáveis independentes, α e β_i são parâmetros a serem estimados (Kleinbaum *et al.*, 1988).

O modelo de regressão de Poisson é um caso particular dos Modelos Lineares Generalizados (MLG), método selecionado para a estimação da função dose-resposta no

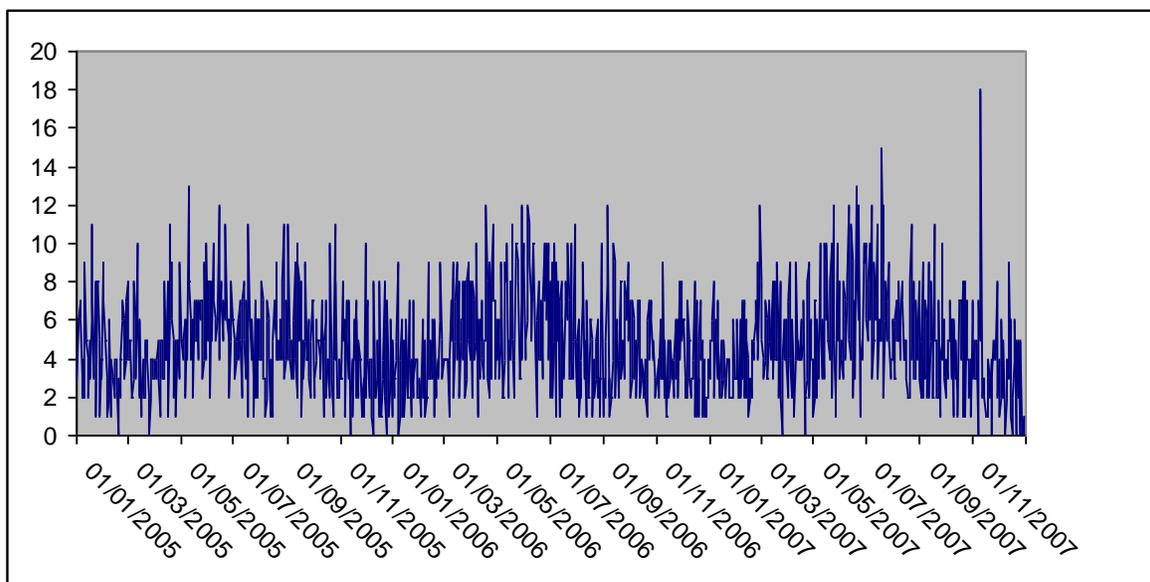
presente trabalho. Existem ainda trabalhos que utilizam os métodos aditivos generalizados (MAG) e outros que utilizam a Regressão Linear para a estimação de tal função. Para discussão acerca da seleção do método a ser adotado consultar, entre outros, Conceição et. al. (2001) e Simas (2003). A estimação será feita a partir do pacote estatístico SPSS, versão 18.0.

Esses modelos são uma extensão dos modelos de regressão linear e se diferenciam dos mesmos por permitir que a variável resposta do modelo venha de um universo que siga uma lei de distribuição da família exponencial.

A variável representativa (AIH) dos casos da doença será o número de internações hospitalares para as doenças do Capítulo X – Doenças do aparelho respiratório: Faringite aguda e amigdalite aguda, Laringite e traqueíte agudas, Outras infecções agudas das vias aéreas superiores, Influenza [gripe], Pneumonia, Bronquite aguda e bronquiolite aguda, Sinusite crônica, Outras doenças do nariz e dos seios paranasais, Doenças crônicas das amígdalas e das adenóides, Outras doenças do trato respiratório superior, Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas, Asma, Bronquiectasia, Pneumoconiose, Outras doenças do aparelho respiratório - do Código internacional de Doenças (CID 10). O uso dessa variável se justifica pelo fato da inexistência de uma base de dados completa para todos os gastos realizados pelos indivíduos acometidos pelas doenças respiratórias.

Os dados utilizados referem-se aos casos de morbidade registrados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), através do Datasus (Banco de Dados do Sistema Único de Saúde). Tais observações foram extraídas a partir dos registros de pagamentos efetuados pelo SUS. Dentre outras informações, tais registros contém a data de internação de cada paciente e a doença diagnosticada que justifica a internação.

Foram coletados dados referentes ao número diário de internações por doenças do aparelho respiratório na cidade de Volta Redonda no período de 01 de janeiro de 2005 até 31 de dezembro de 2007 (os dados que constam no registro se referem apenas aos casos atendidos pelos hospitais credenciados ao SUS, o que acarreta em subestimação de gastos) .A série temporal da variável pode se observada na figura 2.

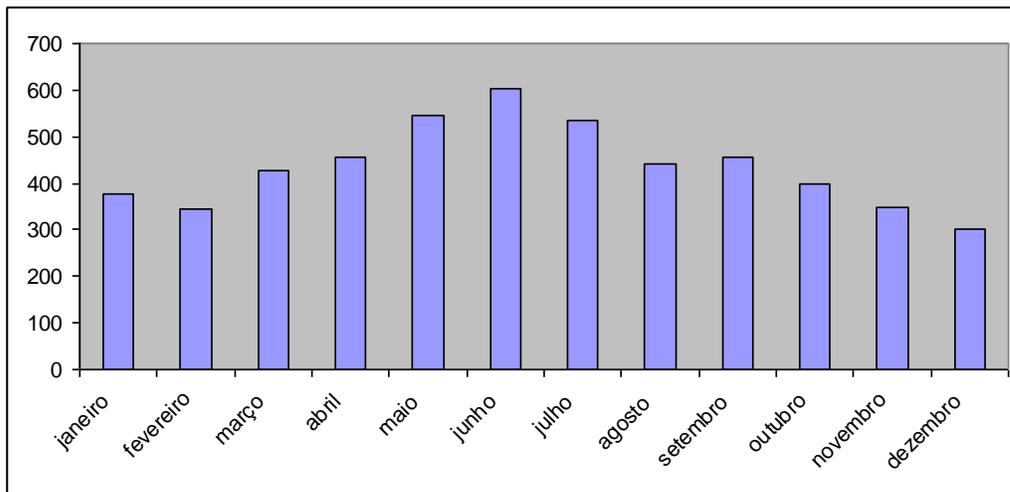


Fonte: Elaborado com base nos dados disponibilizados pelo Datasus.

Figura 2. Série Temporal de internações por doenças respiratórias na cidade de Volta Redonda/RJ no período de 01/01/2005 a 31/12/2007.

Figure 2. Time serie of hospitalizations because of respiratory diseases at Volta Redonda, RJ, period 01/01/2005 to 31/12/2007.

O comportamento das internações por doenças respiratórias também apresenta sazonalidade. Os picos de internação ocorrem nos meses do outono e inverno, com máximas de atendimentos nos meses de junho, maio e julho, respectivamente. Esse comportamento pode ser observado na Figura 3.

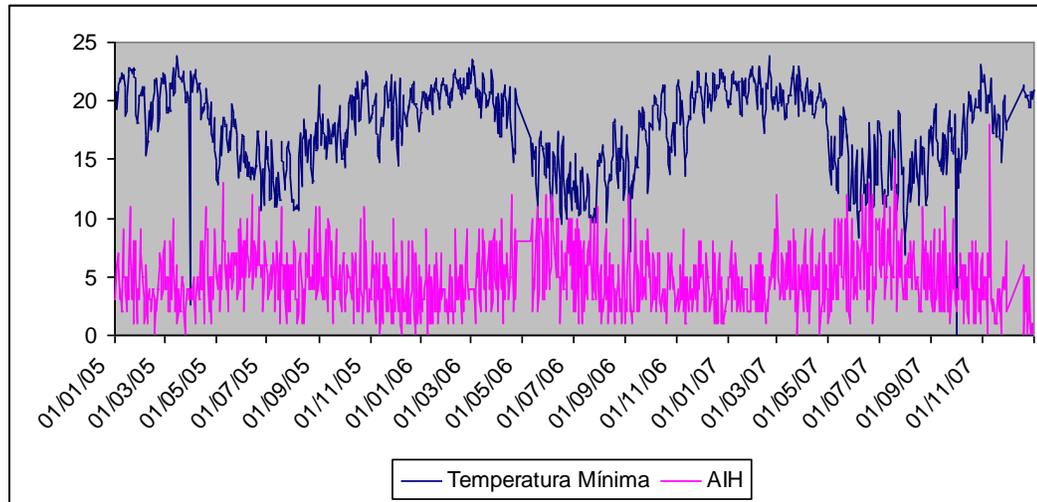


Fonte: Elaborado com base nos dados disponibilizados pelo Datasus.

Figura 3. Número de internações devido a doenças respiratórias, por mês de referência na cidade de Volta Redonda, período 2005 a 2007.

Figure 3. Monthly hospitalization number of cases because of respiratory diseases at Volta Redonda, period 2005 to 2007.

Nesses meses foram observadas as menores médias mensais de temperatura nos anos analisados, o que pode sugerir associação entre as AIH e a temperatura. Essa associação pode ser observada a partir da análise da figura 4.



Fonte: Elaborado com base nos dados disponibilizados pelo INEA (temperatura) e Datasus (AIH).

Figura 4. Série temporal de Internações por doenças respiratórias e temperaturas mínimas em Volta Redonda no período de 01/01/2005 a 31/12/2007.

Figure 4. Temporal serie of hospitalizations due to respiratory diseases and minimum temperatures at Volta Redonda, period 01/01/2005to 31/12/2007.

Para a estimação da função dose-resposta foram consideradas como variáveis independentes as concentrações diárias médias dos seguintes poluentes: PTS($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO (ppm), PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para contornar o problema do excesso de falhas na medição para os poluentes em alguma(s) das estações, foram selecionadas as observações de apenas uma estação para cada poluente. A seleção da estação foi feita com o objetivo da minimização do número de dados faltosos. PTS($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = Estação Belmonte, CO (ppm), O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e Temperatura Mínima = Estação Santa Cecília, PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) = Estação Retiro. Os dados diários referentes às concentrações de poluentes foram disponibilizados pelo INEA.

Foram incluídas como variáveis de controle:

- Mês (12 indicadores para meses do ano – 1 janeiro, 2 fevereiro, ...) e Dias da Semana (7 indicadores para dias da semana – 1 segunda-feira, 2 terça-feira, ...), a fim de controlar os efeitos da sazonalidade e a tendência;
- Temperatura Mínima (°C);
- Variáveis representativas dos referidos dias e dos *lags* (defasagem) dos poluentes, buscando comprovar a associação entre as internações por doenças respiratórias (ou as manifestações dos efeitos da poluição sobre a saúde) e a concentração de poluentes do referido dia e, também dos dias anteriores. Nesse estudo será analisada uma estrutura de defasagem variando de 1, 2, 3 e 7 dias.

As estatísticas descritivas para os poluentes e AIH estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise descritiva dos poluentes e AIH.

Table 1. Descriptive analysis of contaminants and AIH

	Média Diária	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
Internações (AIH)	4.78	4	2.66	18 (09/11/07)	0
PTS($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55.65	51.0	23.08	160.9 (24/09/07)	15.1 (17/09/05 e 30/10/05)
CO (ppm)	0.377	0.340	0.19	1.509 (25/07/06)	0.09 (27/11/05)
PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	29.5	26.9	11.88	104.7 (27/08/07)	8.2 (03/01/07)
O3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30.9	28.6	14.58	8.5 (16/09/2005)	2.7 (18 e 22/03/05)

Fonte: Elaborado a partir dos dados disponibilizados pelo INEA e Datasus.

Legenda

AIH: Internações Hospitalares

AIH: Hospitalizations

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PTS: Total Suspended Particles

CO: Monóxido de Carbono

CO: Carbon Monoxide

PM-10: Partículas Móveis (com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros)

PM-10: Particles Moving ((diameter with an aerodynamic diameter less than or equal to 10 micrometers)

O3: Ozônio

O3: Ozone

Os dados analisados indicam que a concentração diária dos poluentes avaliados não ultrapassou o padrão diário determinado pela legislação (o que não quer dizer os níveis desses poluentes não contribuam para a elevação dos casos de doenças respiratórias).

A partir da determinação das variáveis que irão compor o modelo estimado, passou-se a análise das mesmas. O primeiro passo foi o cálculo da correlação de Pearson entre a variável dependente, AIH, e as variáveis ambientais (poluentes e temperatura).

Posteriormente, foram estimadas regressões de Poisson univariadas (sem a inclusão das variáveis de controle) para cada uma das variáveis propostas, com o objetivo de avaliar a possível associação entre as mesmas e a variável dependente AIH.

Os resultados da correlação e dos coeficientes da regressão estimados são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Correlação de Pearson e resultado da regressão univariada para as variáveis selecionadas.

Table 2. Pearson correlation and univariate regression results for the selected variables.

Variável Independente		r (p)	Coeficientes de Regressão	
			α	β_1
PM10	dia	0.079*	1.458*	0.004*
PM10	lag1	0.092*	1.442*	0.004*
PM10	lag2	0.097*	1.440*	0.004*
PM10	lag3	0.096*	1.427*	0.005*
PM10	lag7	0.038*	1.487*	0.003*
CO	dia	0.093*	1.471*	0.249*
CO	lag1	0.102*	1.459*	0.273*
CO	lag2	0.130*	1.432*	0.344*
CO	lag3	0.118*	1.437*	0.340*
CO	lag7	0.047 ^{NS}	1.507*	0.167*
PTS	dia	0.102*	1.433*	0.002*
PTS	lag1	0.092*	1.445*	0.002*
PTS	lag2	0.103*	1.427*	0.002*
PTS	lag3	0.127*	1.388*	0.003*
PTS	lag7	0.075 ^{NS}	1.468*	0.002*

* Significativo a 1%, NS = não significativo. Fonte: Dados da Pesquisa.

Legenda:

PM: Partículas Móveis

PM: Particles Moving

CO: Monóxido de Carbono

CO: Carbon Monoxide

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PTS: Total Suspended Particles

Os resultados apresentados indicam que as variáveis citadas têm associação com a variável dependente. As variáveis CO lag7 e PTS lag7, apesar de não apresentarem coeficientes de correlação significativos, apresentaram coeficientes significativos nas estimações das regressões univariadas e, por isso, foram incluídas no modelo multivariado.

A variável O₃ apresentou sinal negativo e não significância estatística para observações do dia da internação e para os dados defasados não sendo, então, inseridas como explicativas das internações associadas à poluição atmosférica.

Foi realizado ainda o teste de Kolmogorov-Smirnov para testar a não-normalidade das variáveis.

Após a seleção das variáveis que seriam inseridas no modelo, foi estimada a regressão de Poisson multivariada, a partir do modelo linear generalizado. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes de regressão e erro padrão para internações por doenças respiratórias no município de Volta Redonda, no período de jan/2005 a dez/2007, controlados para dia da semana, dias transcorridos, mês e temperatura mínima.

Table 3. Regression coefficients and standard error for hospitalizations due to respiratory diseases at município de Volta Redonda, period Jan/2005 to Dec/2007, related to day of the week, number of days, month and minimum temperature.

Variável Independente		Coeficientes de Regressão (β)	Erro Padrão
α	-	2.266*	0.1259
PM10	dia	-0.002 ^{NS}	0.0023
PM10	lag1	0.004**	0.0025
PM10	lag2	-0.002 ^{NS}	0.0025
PM10	lag3	0.001 ^{NS}	0.0023
PM10	lag7	-0.001 ^{NS}	0.0021
CO	dia	0.008 ^{NS}	0.1154
CO	lag1	0.037 ^{NS}	0.1239
CO	lag2	0.233**	0.1240
CO	lag3	-0.060 ^{NS}	0.1139
CO	lag7	-0.139 ^{NS}	0.1032
PTS	dia	0.001 ^{NS}	0.0012
PTS	lag1	0.004 ^{NS}	0.0013
PTS	lag2	0.001 ^{NS}	0.0012
PTS	lag3	0.001 ^{NS}	0.0012
PTS	lag7	0.002**	0.0011

* Significativo a 1%. ** Significativo a 10%, NS= não significativo. Fonte: Dados da Pesquisa.

Legenda:

PM: Partículas Móveis

PM: Particles Moving

CO: Monóxido de Carbono

CO: Carbon Monoxide

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PTS: Total Suspended Particles

Conforme os resultados apresentados, tem-se que apenas as variáveis PM10 com a defasagem de um dia, a variável CO, com a defasagem de dois dias e a variável PTS com defasagem para 7 dias se mostraram significativas, indicando que, dentre os poluentes estudados, o monóxido de carbono, o Material Particulado (PM10, que são partículas suspensas menores que $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e as partículas totais em suspensão são os que mais afetam a contagem de internações por doenças respiratórias no período estudado. Infere-se ainda que as concentrações mais significativas são aquelas defasadas, indicando que os impactos da exposição humana aos poluentes não são percebidos imediatamente, mas após um lapso de tempo.

Esse resultado não indica que os outros poluentes não contribuam de alguma forma para a morbidade, mas apenas que os mesmos não se mostraram significativos estatisticamente.

Após a identificação das variáveis significativas, foi estimada uma regressão restrita, contendo apenas as variáveis de controle e as representativas da concentração de CO (*lag* 2), PM10 (*lag* 1) e PTS (*lag* 7). Os coeficientes estimados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de regressão e erro padrão do modelo restrito para internações por doenças respiratórias no município de Volta Redonda, no período de jan/2005 a dez/2007, controlados para dia da semana, dias transcorridos, mês e temperatura mínima.

Table 4. Regression coefficients and standard error of the restricted model for hospitalizations due to respiratory diseases at município de Volta Redonda, period Jan/2005 to Dec/2007, related to day of the week, number of days, month and minimum temperature.

Variável Independente		Coeficientes de Regressão (β)	Erro Padrão
β_o	-	2.234*	0.1083
PM10	lag1	0.002 ^{NS}	0.0014
PTS	lag7	0.001 ^{NS}	0.0007
CO	lag2	0.227*	0.0819

* Significativo a 1%. Fonte: Dados da Pesquisa.

Legenda:

PM: Partículas Móveis

PM: Particles Moving

CO: Monóxido de Carbono

CO: Carbon Monoxide

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PTS: Total Suspended Particles

A estimação da equação restrita confirma a associação entre a morbidade e a concentração defasada do poluente CO, mas não apresenta significância da relação entre as internações e o PM10 e PTS.

Seguindo o mesmo princípio, foi estimada uma regressão contendo as variáveis de controle e a variável significativa CO (lag 2) (Tabela 5).

Tabela 6. Coeficientes de regressão e erro padrão do modelo restrito (CO lag 2) para internações por doenças respiratórias no município de Volta Redonda, no período de jan/2005 a dez/2007, controlados para dia da semana, dias transcorridos, mês e temperatura mínima.

Table 6. Regression coefficients and standard error of the restricted model (CO lag 2) for hospitalizations due to respiratory diseases at município de Volta Redonda, period Jan/2005 to Dec/2007, related to day of the week, number of days, month and minimum temperature.

Variável Independente		Coeficientes de Regressão (β)	Erro Padrão
β_o	-	2.332*	0.0973
CO	lag2	0.282*	0.0720

* Significativo a 1%. Fonte: Dados da Pesquisa.

Legenda

CO: Monóxido de Carbono

CO: Carbon Monoxide

A variável representativa da temperatura mínima (média diária) mostrou-se significativa em todas as estimações, comprovando sua associação com as doenças respiratórias.

A partir dos resultados encontrados, puderam ser quantificados os impactos do poluente (Monóxido de Carbono) sobre a saúde humana, através da análise dos níveis de internação por doenças respiratórias.

O primeiro resultado apresentado é do Risco Relativo (RR) que, nesse caso, se refere ao risco de elevação de internação hospitalar por doenças respiratórias. A estimativa do RR é dada por (Freitas *et al.*, 2002; Cançado, 2003):

$$RR = e^{\beta X} \quad (2)$$

Onde β é o parâmetro estimado pela regressão e X a variação de um interquartil (VIQ) nas concentrações de poluentes.

O intervalo de confiança do Risco Relativo é dado pela seguinte equação (Freitas *et. al.*, 2002; Cançado, 2003):

$$IC_{95\%} (RR) = e^{[(\beta * X) \pm (1,96 * (ep(\beta) * X))]} \quad (3)$$

Onde ep é o erro padrão de β .

Os resultados para o RR e seu IC são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 7. Risco Relativo e Intervalo de Confiança de internação hospitalar por doenças respiratórias relacionadas à variação interquartil do Monóxido de Carbono.

Table 7. Relative Risk and confidence interval of hospitalizations due to respiratory diseases related to the interquartil variation of Carbon Monoxide.

Poluente	RR	Intervalo de Confiança (95%)
CO ppm lag 2	1.06438	(1.0316; 1.0980)

Fonte: Dados da Pesquisa CO: Monóxido de Carbono

O resultado indica que as variações interquartil (0,221 ppm CO) aumentam o risco relativo das admissões hospitalares por doenças respiratórias.

Outra estimativa calculada foi a do acréscimo no número de internações dadas variações interquartil no poluente CO (lag2). Tal acréscimo pode ser estimado através da seguinte equação (Freitas *et. al.*, 2002; Cançado, 2003):

$$A(\%) = (e^{\beta x} - 1) \times 100 \quad (4)$$

onde X é a variação de um interquartil (VIQ) do poluente que se quer estimar e β é o parâmetro estimado pela regressão de Poisson.

Nesse estudo, a partir da aplicação da fórmula descrita, encontrou-se um acréscimo de 6.35%. Esse resultado indica que um aumento de 0.221 ppm de CO está associado a um acréscimo de 6.35% nas internações por doenças respiratórias.

A análise desses resultados confirma a associação entre as internações e a exposição à concentração de monóxido de carbono, já que a elevação da sua concentração eleva o número de internações por doenças respiratórias.

A partir dos resultados obtidos e visando cumprir o objetivo proposto (calcular os custos associados à poluição do ar) foi ainda calculado o número de internações associadas à poluição do ar em Volta Redonda para o período estudado.

A estimativa do número de casos atribuíveis ao fator de risco (no caso a exposição ao poluente atmosférico) pode ser calculada a partir de (Freitas *et al.*, 2002; Camey, 2010):

$$\text{Estimativa do número de casos atribuíveis ao fator de risco (NA)} = \text{Risco Atribuível Populacional} \times \text{Número Total de Casos} \quad (5)$$

Sendo o risco atribuível populacional (RAP):

$$\text{RAP} = \frac{RR - 1}{RR} \quad (6)$$

Tem-se que:

$$\text{NA} = \frac{RR - 1}{RR} \times N \quad (7)$$

Onde: NA é o número de casos atribuídos à concentração do poluente analisado; RR é o risco relativo de internações devido à poluição e N é o número de internações por doenças respiratórias no período.

A partir da análise dos dados mensais de internação para o período desse estudo (jan/2005 a dez/2007), tem-se que 316 das 5235 internações, ou 6%, das doenças respiratórias no período estão associadas aos níveis de CO encontrados na atmosfera (Tabela 8).

Tabela 8. Internações atribuídas a exposição ao poluente CO durante o período de estudo.

Table 8. Number of hospitalizations believed to have been caused by CO contaminant during the study period.

Poluente	
Ano	CO
2005	106
2006	106
2007	106
Total	316

Fonte: Dados da pesquisa.

CO: Monóxido de Carbon

Através do cálculo do número de internações associadas à poluição do ar pode-se estimar o custo dessa poluição, que seria encontrado através da multiplicação do valor médio da AIH pelo número de AIH. Esse procedimento e seu resultado são apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Estimativa do Custo associado à poluição do ar na cidade de Volta Redonda/RJ, nos anos de 2005, 2006 e 2007.

Table 9. Estimate of the cost associated to air pollution at Volta Redonda city, RJ, during the years 2005, 2006 and 2007.

Ano	Total	Valor Médio AIH* (R\$)	Valor Total (R\$)
2005	105	487.71	51209.55
2006	106	507.56	53801.36
2007	106	619.82	65700.92
Total	316		170711.83

* Valor médio das internações por doenças respiratórias segundo dados do Sistema Único de Saúde. Fonte: Dados da pesquisa. AIH: Internações Hospitalares

Como pode ser observado na Tabela 11, o custo associado à poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda para o período de análise é de R\$ 170711.83. Esse valor representa um custo que seria evitado caso a qualidade do ar fosse mantida, ou seja, não houvesse poluição em nível capaz de afetar a saúde humana.

Os resultados obtidos através desse estudo indicam que a poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda, no período estudado, está relacionada a internações por doenças respiratórias, principalmente pela exposição dos indivíduos ao Monóxido de Carbono.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado, o valor estimado pelo método como custo evitado caso houvesse manutenção da qualidade do ar é muito pequeno e acaba por subestimar o verdadeiro custo da poluição.

Além disso, a existência de correlação positiva entre as variáveis independentes (representativas dos poluentes – tabela 3) e os resultados encontrados em outros estudos - por exemplo: Freitas et. al. (2002), encontraram significância entre a associação de PM10 e as internações por doenças respiratórias na infância e a morte de idosos para a cidade de São Paulo. Schwartz *et al.* (1996) encontraram associação entre admissões hospitalares e à exposição a níveis de O₃, PM10 e SO₂. Gouveia *et al.* (2003) concluíram em seu estudo sobre o impacto de PM10, CO, SO₂ e NO₂ sobre doenças do aparelho circulatório e respiratório em crianças e idosos - indicam que os demais poluentes também estão

associados às doenças respiratórias, apesar de não se mostrarem significativos nas análises estatísticas, o que também subestima o valor do recurso ambiental.

Em síntese, trata-se de um caso típico de dificuldade de estimativa da função dose-resposta. É preciso considerar ainda que as possíveis doenças associadas à poluição não são o único problema causado pela poluição do ar que apresentam impactos econômicos. Há outros, muitos desconhecidos, que poderiam ser observados através de uma avaliação ecossistêmica mais apropriada.

De qualquer modo, mesmo sabendo-se que os valores monetários apurados refletem apenas parte do valor econômico total, trata-se de uma valiosa informação para a formulação de políticas públicas que venham a ser tomadas com vistas a reduzir ou eliminar a poluição atmosférica na cidade de Volta Redonda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi H, Pereira JCR, Andrade MF, Gonçalves FLT, Saldiva PHN & Latorre MRDO. 1999. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. *J Environ Med*, 1: 95-102
- Camey SA, Agranonik M, Radaelli J & Hirakata VN. 2010. Fração Atribuível Populacional. *Revista do Hospital das Clínicas de Porto Alegre*, 30 (1): 77-85

- Cançado JED. 2003. *A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba – SP*. 201 f. Tese Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP : 201 p
- Coelho MSZS. 2007. *Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em funções de condições meteorológicas na cidade de São Paulo*. 196 f. Tese Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP: 196 p
- Conceição GMS, Saldiva PHN & Singer JN. 2001. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbimortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 4(3): 206-219
- Gujarati DN. 2006. *Econometria Básica*. Elsevier, Rio de Janeiro: 812 p
- Freitas CU, Pereira LAA & Saldiva PHN. 2002. Vigilância dos efeitos na saúde decorrentes da poluição atmosférica: estudo de factibilidade. Disponível em: http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/doma_vig.htm Acesso 10/12/2009
- Gouveia N, Mendonça GAS, Ponce-De-Leon A, Correia JEM, Junger WL & Freitas CU 2003. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saúde*, 12: 29-40
- Kleinbaum DG, Kupper LL & Müller KE. 1988. *Applied regression analysis and other multivariate methods*. Belmont, Duxbury Press: 816 p
- Morgenstern H. 1982. Uses of ecological analysis in epidemiologic research. *Am J Public Health*, 72: 1336-1344

- Saldiva PHN, Pope III CA, Schwartz J, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM, Barone I & Böhm GM. 1995. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. *Arch Environ Health*, 50: 159-163
- Schwartz J. 1993. Air pollution and daily mortality in Birmingham, Alabama. *Am J Epidemiol*, 137: 1136-1147
- Schwartz J. 1994. Air pollution and daily mortality: A review and meta analysis. *Environ Res*, 64: 36-52
- Schwartz J, Dockery DW & Neas LM. 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manage Assoc*, 46: 927-939
- Simas HS. 2003. *Aspectos metodológicos em análises de séries temporais epidemiológicas do efeito da poluição atmosférica na saúde pública: uma revisão bibliográfica e um estudo comparativo via simulação*. 107 f. Dissertação Mestrado em Saúde Coletiva, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ : 107 p
- Sor JL, Clevelário Júnior J, Guimarães LT & Moreno RAM. 2008. *Relatório piloto com aplicação da metodologia IPPS ao estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar. Texto para discussão N° 2*. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 50 p