

ESTUDO DO MODELO CATT BRAMS COMO AUXÍLIO ÀS PESQUISAS DE DADOS DE POLUENTES AMBIENTAIS

STUDY MODEL CATT BRAMS AS AID TO RESEARCH DATA ENVIRONMENTAL POLLUTANTS

ESTUDIO MODELO CATT BRAMS COMO AYUDA A LA INVESTIGACIÓN DATOS DE CONTAMINANTES AMBIENTALES

Katia Cristina Cota Mantovani¹ (katia@fatecguaratingueta.edu.br)

Luiz Fernando Nascimento² (luiz.nascimento@feg.unesp.br)

Demerval Soares Moreira³ (demervalism@gmail.com)

¹ FATEC Guaratinguetá

² FEG-UNESP/ UNITAU

³ CPTEC-INPE

Resumo

Existem muitos municípios que não possuem agências fiscalizadoras das atividades que geram poluentes ambientais e, por essa razão, as pesquisas que precisam de tais índices focalizam apenas locais onde há tais agências. No entanto, nos últimos anos, é possível coletar dados sobre tais variáveis através de um modelo chamado CATT BRAMS, desenvolvido pelo CPTEC-INPE, que estima os dados dos poluentes ambientais e algumas variáveis climáticas em vários municípios. Este estudo buscou verificar a adequabilidade desse modelo para que haja pesquisas em locais que não possuem estações medidoras de poluentes ambientais e variáveis climáticas. Foi utilizado gráfico de dispersão e coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis do modelo e da CETESB. O coeficiente de correlação para a variável ozônio foi $r=0,538$ ($p<0,05$), para temperatura, $r=0,844$ ($p<0,05$) e, para umidade, $r=0,768$ ($p<0,05$). Esses resultados mostraram que há adequabilidade para utilização dos dados do modelo CATT BRAMS no momento que os pesquisadores não tiverem os dados de estações medidoras.

Palavras-chave: Poluentes ambientais, Modelo CATT BRAMS, Correlação.

Abstract

There are many municipalities that lack enforcement agencies activities that cause environmental pollution and for this reason the research that need such indices focus only places where such agencies have. However, in recent years, it is possible to collect data on such variables through a model called CATT BRAMS, developed by INPE CPTEC – estimating data from environmental pollutants and some climatic variables in several municipalities. This paper aimed to verify the suitability of this model so that there is research in places that do not have measuring stations of environmental pollutants and climatic variables was used dispersion coefficient and Pearson correlation between the model variables and Cetesb chart. The correlation coefficient for the variable ozone was $r = 0.538$ ($p < 0.05$), for temperature, $r = 0.844$ ($p < 0.05$) and, moisture, $r = 0.768$ ($p < 0.05$). These results showed that there suitability for use of data in CATT BRAMS when the researchers did not have data measuring stations

Keywords: Environmental pollutants, CATT BRAMS Model, Correlation

Resumen

Hay muchos municipios que carecen de aplicación de las agencias de las actividades que generan los contaminantes ambientales y, por esta razón, la investigación que necesitan este tipo de índices se centran únicos lugares donde existen esos organismos. Sin embargo, en los últimos años, es posible recoger datos sobre estas variables a través de un modelo llamado CATT

BRAMS desenvolvido por CPTEC – INPE, que estima los datos de algunos de los contaminantes ambientales y las variables climáticas en varios municipios. Este estudio trató de verificar la idoneidad de este modelo, de manera que hay una investigación en lugares que no cuentan con estaciones de los contaminantes ambientales y las variables climáticas de medición. Se utilizó el coeficiente de dispersión y correlación de Pearson entre las variables del modelo y Cetesb gráfico. El coeficiente de correlación para la variable de ozono fue de $r = 0,538$ ($p < 0,05$) para la temperatura, $r = 0,844$ ($p < 0,05$) y a la humedad, $r = 0,768$ ($p < 0,05$). Estos resultados mostraron que no idoneidad para el uso de los datos en CATT BRAMS cuando los investigadores no tienen datos de las estaciones de medición.

Palabras clave: contaminantes ambientales, modelo CATT BRAMS correlación.

Introdução

Para o desenvolvimento de alguns ramos da Ciência, é preciso a existência de índices que exponham a realidade daquele local em uma data e horário específicos. Tratando-se de coletar e monitorar os índices de poluentes ambientais, existem as agências fiscalizadoras em alguns municípios; no caso do Estado de São Paulo, há a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

A CETESB é a agência do Governo do Estado responsável por controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo.

No ano de 2013, foi possível verificar a existência de 56 agências distribuídas pelo Estado, que reúnem em um único espaço as equipes da CETESB, do Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais (DEPRN) e do Departamento de Uso do Solo Metropolitano (DUSM). Algumas dessas agências possuem estações, como a agência de São Paulo, que possui 4 estações.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), o Estado de São Paulo possui 645 municípios, e, portanto, em muitos deles não possuem uma estação da CETESB e, por isso, tais municípios ficam sem pesquisa desses índices. Diante disso, há a preocupação que existam pesquisas sobre os poluentes ambientais e variáveis climáticas, mesmo nos municípios que não possuem agências fiscalizadoras. No entanto, é possível coletar dados sobre tais variáveis através de um modelo chamado CATT BRAMS, desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), que estima os dados em vários municípios.

A necessidade de estudar os poluentes ambientais e suas consequências quanto à saúde humana faz com que ocorram muitas pesquisas nesse âmbito, porém a maioria dessas só existe em lugares onde há as estações medidoras como a CETESB (CANÇADO *et al.*, 2006; NASCIMENTO, 2011). Os municípios que não possuem tais estações não são contemplados com pesquisas que estudam os poluentes ambientais, temperatura e umidade, e é nessa lacuna que esta pesquisa entra com o objetivo de estudar os dados estimados pelo modelo CATT BRAMS

que possam ser utilizados nos municípios que não possuem estações medidoras (LONGO *et al.*, 2007).

Para que isso ocorra, é preciso verificar a adequabilidade do referido modelo e propor estudos utilizando seus dados (SCHIMIDT, 1996; WERKEMA *et al.*, 1996), para que possamos aplicá-lo em locais que não possuam estações medidoras de poluentes ambientais, temperatura e umidade.

Neste trabalho, estudamos o modelo CATT BRAMS, as variáveis em questão enfocando a adequabilidade do modelo CATT BRAMS através de correlação de Pearson. Desse modo, este artigo apresenta em seu desenvolvimento estudos sobre: o Modelo CATT BRAMS; os poluentes ambientais; o município escolhido: São José do Rio Preto (SP); o coeficiente de correlação de Pearson; e finalmente, a comparação das variáveis ozônio, temperatura e umidade entre os dados do Modelo CATT BRAMS e as medidas-CETESB.

1 O Modelo CATT BRAMS

O modelo utilizado foi o CATT BRAMS, que é baseado em *Regional Atmospheric Modeling Systems* (RAMS), versão 6, com algumas funcionalidades novas e parametrizações especializadas para trópicos e sub-trópicos. RAMS é um modelo de previsão numérica multi-objetivo desenhado para simular circulações atmosféricas com escalas variando da escala hemisférica até simulações de grandes turbilhões (LONGO *et al.*, 2007)

O *Coupled Aerosol and Tracer Transport Model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System* (CATT BRAMS) é um sistema de monitoramento operacional em tempo real. Foi implementado em 2003, usando o modelo de transporte 3D on-line, acoplado com modelo de emissões (LONGO *et al.*, 2007).

Esse modelo é equipado com um esquema de aninhamento múltiplo o qual permite que suas equações sejam solucionadas simultaneamente em qualquer número de grades computacionais com resoluções espaciais diferentes que interagem entre si. Também possui um complexo conjunto de módulos para simular processos como: transferência radiativa, troca de água, calor e momento entre a superfície e a atmosfera, transporte turbulento na camada limite planetária e microfísica das nuvens.

O próximo item tratará sobre os poluentes ambientais. Neste artigo, trata-se de estudar a estimativa do ozônio pelo Modelo CATT BRAMS em comparação com a medida da CETESB. Esse poluente é classificado como um poluente secundário, como se mostrará a seguir.

2 Os poluentes ambientais

Os poluentes podem ser divididos em primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles liberados diretamente das fontes de emissão, como o dióxido de enxofre (SO₂), o sulfeto

de hidrogênio (H_2S), os óxidos de nitrogênio (NO_x), a amônia (NH_3), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4).

Os poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera através de reações químicas entre os poluentes primários; se destacando o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o ácido nítrico (HNO_3), o trióxido de enxofre (SO_3), os nitratos (NO_3), os sulfatos (SO_4), o ozônio (O_3) e o nitrato de peroxiacetila – PAN – ($CH_3 = OO_2NO_2$), sendo que os dois últimos estão entre os mais prejudiciais às pessoas e à vegetação (FREEDMAN 1995, *apud* PEDROSO, 2007) porque formam radicais livres (superóxidos, hidroxilas, dentre outros) que atacam os seres vivos.

Alguns desses poluentes, mais especificamente o SO_2 e o NO_2 , quando se difundem na atmosfera, podem reagir com a água e formar a chuva ácida, que causa corrosão aos materiais e danos à vegetação (FREEDMAN 1995, *apud* PEDROSO, 2007).

Os nitratos, produtos da dissociação do NO_x pela água, são considerados nutrientes, mas em excesso ocasionam a eutrofização de corpos d' água (FREEDMAN 1995, *apud* PEDROSO, 2007).

Juntamente a esses poluentes, há ainda hidrocarbonetos, compostos orgânicos voláteis (COVs), mercúrio (Hg), e material particulado (MP), que corresponde às partículas em suspensão com diâmetro menor que $50\mu m$. Estas partículas podem conter elementos tóxicos como o arsênico (As), o chumbo (Pb), o cobre (Cu) e o níquel (Ni) e também aerossóis emitidos pela combustão (FREEDMAN 1995, *apud* PEDROSO, 2007).

Uma das fontes da pesquisa foi a coleta de dados da CETESB, uma agência que estuda tais poluentes. As agências de proteção ambiental definem valores limites para os poluentes que são utilizados como referência para avaliar a situação ambiental. Dentre as agências internacionais podem ser destacadas a *Environmental Protection Agency – National Ambiente Air Quality Standards* (US EPA-NAAQS), localizada nos Estados Unidos da América, e a *World Health Organization* (WHO) com sede em Geneva, Suíça (vide Tabela 1).

Em São Paulo, a CETESB monitora, através de estações telemétricas, a situação dos poluentes nas regiões que compreendem a região Metropolitana de São Paulo e algumas cidades do interior do Estado. Os valores dos limites seguem os sugeridos da Organização Mundial de Saúde (OMS).

Segue a tabela 1, com os limites de alguns poluentes.

Tabela 1 - Limites dos poluentes ambientais segundo as agências fiscalizadoras

Poluente	Tempo de amostragem	CETESB	NAAQS	WHO
CO (monóxido de carbono)	1h	35 ppm	35 ppm	26 ppm
NO_2 (dióxido de nitrogênio)	8h	9 ppm	9 ppm	8,7 ppm
	1h	$320 \mu g/m^3$		$200 \mu g/m^3$
PM_{10} (material particulado)	Anual	$100 \mu g/m^3$	53 ppb	$40 \mu g/m^3$
	24 h	$150 \mu g/m^3$	$150 \mu g/m^3$	

PM _{2,5} (material particulado fino)	Anual 24 h	50 µg/m ³	50 µg/m ³ 65 µg/m ³	- -
O ₃ (ozônio)	Anual 1 h	15 µg/m ³ 160 µg/m ³	15 µg/m ³ 120 ppb	- -
SO ₂ (dióxido de enxofre)	8h 24h Anual	120 µg/m ³ 125 µg/m ³ 80 µg/m ³	80 ppb 140 ppb 30 ppb	120 µg/m ³ 125 µg/m ³ 50 µg/m ³

Fonte: PEDROSO *et al.* (2007)

O item a seguir esclarece sobre o município escolhido, destacando as características pertinentes ao estudo desenvolvido.

3 O município escolhido: São José do Rio Preto (SP)

O município escolhido é um dos marcos desta pesquisa, onde foram analisados os índices de poluentes ambientais medidos na estação da CETESB. Foi escolhido por ser um município de médio porte, desenvolvido, onde será possível fazer estudos que envolvam os poluentes ambientais com as doenças cardiorrespiratórias em pesquisas posteriores.

São José do Rio Preto é um município brasileiro localizado no interior do Estado de São Paulo. Pertencente à mesorregião e microrregião de mesmo nome, localiza-se a noroeste da capital do estado, distando desta 443 km. Está localizada junto à bacia hidrográfica do Rio Grande, pertencendo à sub-bacia do Rio Preto, cujo rio banha a cidade. O município está situado em uma altitude média de 489 metros, tendo ainda em seu território várias sub-bacias de pequenos e médios córregos com papéis importantes em sua configuração. E é cortado no sentido leste-oeste pelo paralelo 49° 22' 44", e em sentido norte-sul, pelo meridiano de 20° 49' 12". A área do município é de 431,3 km² (IBGE, 2006).

A informação sobre a latitude e a longitude é uma das informações mais importantes neste trabalho, pois é através delas que o Modelo CATT BRAMS fornece os índices dos poluentes ambientais desse município.

A população no ano de 2010, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, era de 408 258 habitantes, sendo então o décimo segundo mais populoso de São Paulo e primeiro de sua mesorregião. E mais de 420.000 para o ano de 2013.

A sede tem uma temperatura média anual de 23,6°C e na vegetação do município predomina uma formação arbórea esparsa. Em relação à frota automobilística, em fevereiro de 2013 foram contabilizados 324.000 veículos.

Possui uma taxa de urbanização da ordem de 94,08%, o município contava, em 2009, com 157 estabelecimentos de saúde. O seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,834, considerado como elevado em relação ao Estado (IBGE, 2010).

A cidade de São José do Rio Preto foi emancipada de Jaboticabal na década de 1890. A versão de sua etimologia é que o nome seja uma mistura entre o padroeiro, São José, e o Rio Preto, rio que banha o município. Hoje, é formada pelos distritos de Engenheiro Schmitt, São José

do Rio Preto (Distrito-Sede) e Talhado, e se subdivide em cerca de 360 bairros, loteamentos e residenciais.

É um dos principais polos industriais, culturais e de serviços do interior de São Paulo. Sua história econômica esteve por muito tempo ligada à cafeicultura, também presente em grande parte do Estado de São Paulo, principalmente no início do século XX.

O município conta ainda com uma importante tradição cultural, que vai desde o seu artesanato até o teatro, a música e o esporte. Seus principais e mais tradicionais clubes de futebol são o América Futebol Clube e o Rio Preto Esporte Clube, fundados, respectivamente, em janeiro de 1946 e abril de 1919.

4 Método quantitativo: O coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson (r) ou coeficiente de correlação produto-momento ou o r de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1.0 inclusive, que reflete a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra “r” assume apenas valores entre -1 e 1, como exposto na fórmula a seguir (BUSSAB; MORETTIN, 1995):

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

Onde:

n= número de pares de dados;

$\sum xy$ = soma do produto das variáveis “x” e “y”;

$\sum x$ = soma da variável “x”;

$\sum y$ = soma da variável “y”;

$\sum x^2$ = soma do quadrado da variável “x”;

$\sum y^2$ = soma do quadrado da variável “y”.

r= 1 Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

r= -1 Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis; isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.

r= 0 Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

No entanto, pode existir uma outra dependência que seja “não linear”. Assim, o resultado r=0 deve ser investigado por outros meios.

5 Comparação das variáveis ozônio, temperatura e umidade entre os dados do Modelo CATT BRAMS e as medidas-CETESB

Neste tópico, encontra-se na figura 1, o gráfico de dispersão entre a medida do Ozônio da CETESB e do modelo CATT BRAMS (Gráfico 1). A análise da correlação foi feita pelo software SPSS, calculando o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis de 0,538 (com $p < 0,05$), o que nos mostra uma relação significativa, fazendo com que, nos próximos estudos, realizemos um modelo colocando no lugar da variável dependente, apenas a variável do CATT BRAMS.

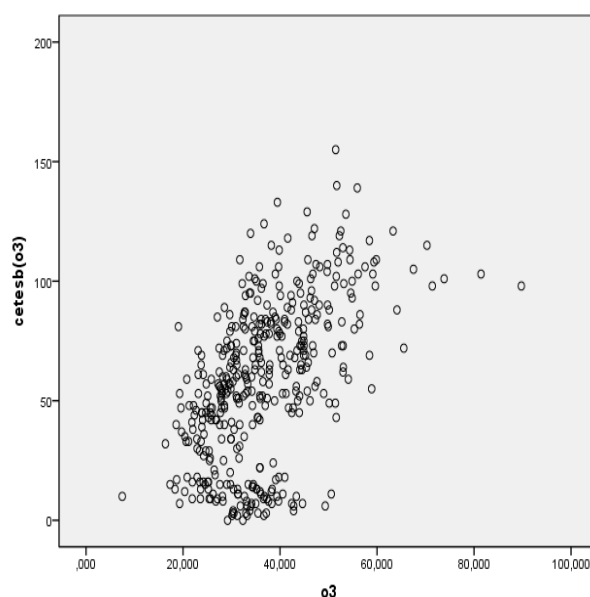


Figura 1: Gráfico de dispersão entre o Ozônio (Cetesb) e a medida do Ozônio – CATT BRAMS
Fonte: Os próprios autores

Percebemos no gráfico de dispersão que os dados se comportam de forma linear.

No próximo gráfico (figura 2), veremos que a temperatura também se comporta de forma linear, fazendo com que possamos utilizar os dados do CATT BRAMS nos modelos de regressão em futuros estudos:

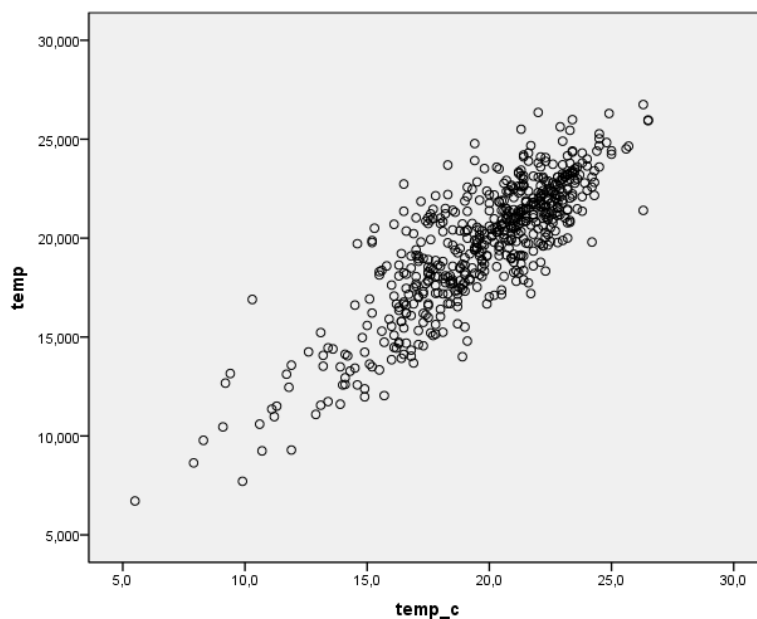


Figura 2: Temperatura CATT BRAMS (eixo y) X Temperatura CETESB (eixo x)

Fonte: Os próprios autores

A análise do coeficiente de correlação de Pearson forneceu $r=0,844$ ($p<0,05$), fazendo com que mais uma vez que possamos utilizar os dados do modelo CATT BRAMS nos próximos estudos.

Temos, na figura 3, a comparação entre os dados do CATT BRAMS e os dados medidos pela CETESB da variável Umidade.

O coeficiente de correlação de Pearson também se mostrou significativo: $r=0,768$ ($p<0,05$).

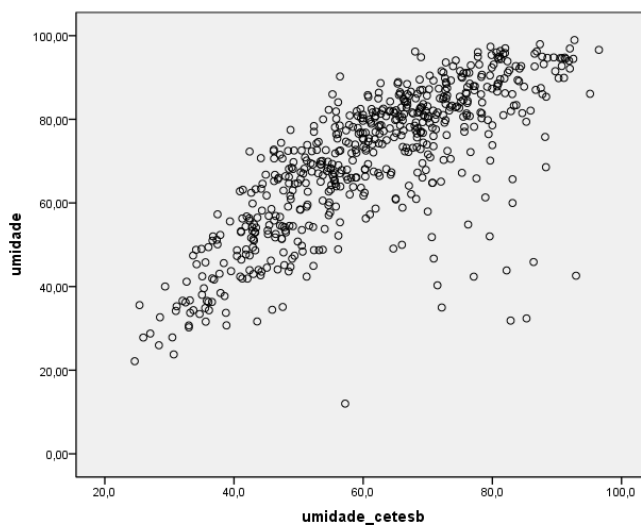


Figura 3: Gráfico de dispersão entre os dados da umidade através do Modelo CATT BRAMS e as medidas da umidade – CETESB

Fonte: Os próprios autores

Considerações Finais

O objetivo do artigo foi mostrar que podemos utilizar os dados do modelo CATT BRAMS em outros estudos e em municípios que não possuem uma estação medidora de poluentes ambientais, temperatura e umidade. Para isso, foi proposta a análise através do coeficiente de correlação de Pearson. Pudemos observar que as três variáveis em questão podem ser utilizadas.

Para os próximos estudos, propomos fazer a relação entre as interações cardiovasculares e os poluentes ambientais, temperatura e umidade estudados em São José do Rio Preto.

Referências

BUSSAB, Wilton O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica**. 4ª ed. São Paulo: Atual, 1995.

CANÇADO, Jed *et al.* The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environ Health Perspect** 2006; 114:725-9.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC – INPE). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: mar. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/32-qualar>. Acesso em: mar. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. IBGE, 2006. Disponível em <<http://www.ibge.br>>. Acesso em: 10 maio 2013.

LONGO, K. *et al.* The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, 8571-8595, 2007.

NASCIMENTO, L. F. C. Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in São Paulo State, Brazil. **Braz J Med Biol Res**, vol. 44, n. 7, Ribeirão Preto, July 2011, Epub June 21, 2011.

PEDROSO, A. Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras. Instituto de Botânica – IBt. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Poluentes_Atmosfericos_&_Plantas_Bioindicadoras_Andrea_N_V_Pedroso.pdf. Acesso em: 10 jun. 2013.

SCHMIDT, C. M. C. **Modelo de regressão de Poisson aplicado à área da saúde**. Ijuí, 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>. Acesso em: 12 maio 2013.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de regressão:** como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Bmartinselo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni da Escola de Engenharia da UFMG, 1996. (Série Ferramentas da qualidade, 7)

Bibliografia Consultada

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística.** São Paulo: Atlas, 1996.

IGNOTTI, E *et al.* Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. **Rev. Saúde Pública** 2010; 44:121-30.

MARTINS, L. C. Relação entre poluição atmosférica e algumas doenças respiratórias em idosos: avaliação do rodízio de veículos no município de São Paulo. São Paulo, 2000. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo

TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Análise estatística do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. In: RIO OIL & GAS 2006 EXPO AND CONFERENCE, 13, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Editora IBP, 2006a.

TADANO, Y. S. **Análise do impacto de MP10 na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, PR.** Curitiba, 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Recebido em 17/10/2013

Aceito em 14/02/2014