

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

**MODELAGEM FUZZY DE DADOS CLIMÁTICOS ESTIMADOS POR MODELO
MATEMÁTICO – CCATT-BRAMS**

Guaratinguetá

2015

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

**MODELAGEM FUZZY DE DADOS CLIMÁTICOS ESTIMADOS POR MODELO
MATEMÁTICO – CCATT-BRAMS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Projetos.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Paloma Maria Silva Rocha Rizol

Guaratinguetá

2015

V658m Vieira, Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva
Modelagem fuzzy de dados climáticos estimados por modelo matemático – CCATT-BRAMS / Luciana Cristina Pompeo Ferreira da Silva Vieira – Guaratinguetá, 2016.
72 f. : il.
Bibliografia : f. 67-72

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Paloma Maria Silva Rocha Rizol

1. Ar - Poluição 2. Lógica difusa 3. Aparelho respiratório – Doenças
I. Título


CDU 614.71(043)

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador / Unesp-Feg



Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI
Unesp-Feg



Prof. Dr. ANA CRISTINA GOBBO CESAR
IFECTSB/Bragança Paulista

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA

NASCIMENTO 10.01.1983 – GUARATINGUETÁ / SP

FILIAÇÃO Ariovaldo Ferreira da Silva
 Maria Leticia Pompeo Ferreira da Silva

2001 / 2004 Curso de Graduação
 Licenciatura em Matemática
 Centro Universitário Salesiano de São Paulo
 Campus de Lorena - UNISAL

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a *Deus* que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades;

Ao meu orientador *Prof.º Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento* que acreditou em mim, pela paciência na orientação e incentivo;

À minha coorientadora *Prof.ª Dr.ª Paloma Maria Silva Rocha Rizol* pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho;

Aos professores *Mauro Pedro Peres, Ana Paula Rosifini Alves, José Geraldo Trani Brandão, José Elias Tomazini e José Antonio Perrella* por me proporcionar o conhecimento e terem me feito aprender;

Ao meu querido marido e amigo *Nilson* por sempre estar ao meu lado, pelo carinho, compreensão e cumplicidade;

Ao meu pai *Ariovaldo* e minha mãe *Maria Leticia* que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até aqui;

Ao meu irmão *Ariovaldo Junior e sua família* pela compreensão de minha ausência;

A toda equipe da *Escola Estadual Prof.º Rogério Lacaz* pelo apoio constante;

A *Universidade Estadual Paulista – UNESP / FEG* pela oportunidade;

E a todos amigos e colegas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.

Mahatma Gandhi

Vieira, L.C. P. F. S. **Modelagem fuzzy de dados climáticos estimados por modelo matemático – CCATT-BRAMS**. 2015. 72 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Atualmente, estudos sobre a qualidade do ar tem sido de extrema importância pois os poluentes existentes no ar causam efeitos diretos no sistema respiratório provocando custos sociais. Dada a importância de prever hospitalização por doenças respiratórias para que o gestor municipal possa preparar funcionalmente o serviço de saúde para possíveis admissões, esta dissertação teve como objetivo elaborar e validar um modelo linguístico *fuzzy* para previsão de hospitalização por doenças respiratórias. Foi construído um modelo *fuzzy* para predição de internações por pneumonias, bronquite, bronquiolite e asma (J12 a J18 e J45 da CID 10) segundo exposição ao $PM_{2,5}$ e CO em residentes de Volta Redonda, RJ, em 2012. Foram construídos três modelos: dois com duas entradas ($PM_{2,5}$ / TEMP e CO / TEMP) e um com três entradas ($PM_{2,5}$ / CO / TEMP). Para o modelo com duas entradas havia três funções de pertinência para cada uma, para as concentrações do $PM_{2,5}$ ou CO e temperatura, e uma saída com três funções de pertinência para internações, que foram obtidos do DATASUS. Para o modelo com três entradas, as funções de pertinência se mantiveram e a saída mudou para quatro funções de pertinência. Os modelos mostraram uma boa acurácia. Para o modelo com $PM_{2,5}$ o resultado foi entre 90% e 76,5% para os *lags* 1, 2 e 3; para o modelo com CO o resultado foi entre 94,7% e 80,1% para os *lags* 1, 2 e 3; e para o modelo com $PM_{2,5}$ e CO simultaneamente a acurácia ficou entre 91,4% e 80,1% ($PM_{2,5}$) e 92,9% e 82,1% (CO) para os *lags* 1, 2 e 3, possibilitando assim sua aplicação por gestores de saúde.

PALAVRAS – CHAVE: Poluição do ar. Material particulado. Monóxido de carbono. Doenças do aparelho respiratório. Lógica fuzzy. Modelagem matemática.

Vieira, L.C. P. F. S. **Fuzzy modeling climatic data estimated by mathematical model – CCATT-BRAMS**. 2015. 72 f. Thesis (Master's degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

Currently, studies on air quality has been of utmost importance because the pollutants in the air cause direct effects on the respiratory system causing social costs. Given the importance of providing hospitalization for respiratory diseases to the city manager can functionally prepare the health service for possible admissions, this work aimed to develop and validate a fuzzy linguistic model for prediction of hospitalization for respiratory diseases. A fuzzy model was built to predict hospitalizations for pneumonia, bronchitis, bronchiolitis and asthma (J12 to J18 and J45 of ICD 10) after exposure to $PM_{2.5}$ and CO in Volta Redonda residents, RJ, in 2012. They were built three models: two with two Entries ($PM_{2.5}$ / TEMP and CO / TEMP) and one with three inputs ($PM_{2.5}$ / CO / TEMP). For the model with two entrances there were three membership functions for each, for $PM_{2.5}$ concentrations or CO and temperature, as well as, an outlet with three membership functions for admissions, which were obtained from DATASUS. For the model with three inputs, membership functions were maintained and the output changed to four membership functions. The models showed good accuracy. For the model with $PM_{2.5}$ the result was between 90% and 76.5% for *lags* 1, 2 and 3; for model with CO the result was between 94.7% and 80.1%, for *lags* 1, 2 and 3; and the model with both CO and $PM_{2.5}$ accuracy was between 91.4% and 80.1% ($PM_{2.5}$) and 92.9% and 82.1% (CO) for *lags* 1, 2 and 3, allowing its application for health managers.

KEYWORDS: Air pollution. Particulate matter. Carbon monoxide. Respiratory system diseases. Fuzzy logic. Mathematical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Pensilvânia, outubro de 1948.....	16
Figura 2	O clima durante o Grande Nevoeiro de 1952 e a praça da <i>Nelson's Column</i> em dia de céu limpo.....	17
Figura 3	Monitoramento do CO pelo do CCATT – BRAMS.....	25
Figura 4	Conjunto clássico x conjunto <i>fuzzy</i>	27
Figura 5	Representação das principais funções de pertinência.....	28
Figura 6	Diagrama em blocos da lógica <i>fuzzy</i>	29
Figura 7	Mapa do município de Volta Redonda – RJ.....	32
Figura 8	Caminho para obter planilha DATASUS.....	33
Figura 9	Arquivo para baixar planilhas DATASUS.....	34
Figura 10	Arquivos para <i>downloads</i> para obter planilha DATASUS.....	34
Figura 11	Planilha fornecida pelo DATASUS já filtrada.....	35
Figura 12	Planilha para gerar o número de internações.....	35
Figura 13	Planilha desenvolvida no programa Excel.....	36
Figura 14	<i>Fis Editor</i> para o modelo unipolvente (PM _{2,5} e TEMP).....	37
Figura 15	Função de pertinência para a variável entrada PM _{2,5}	38
Figura 16	Função de pertinência para a variável entrada TEMP.....	38
Figura 17	Função de pertinência para a variável de saída (número de internações)....	39
Figura 18	<i>Fis Editor</i> para o modelo unipolvente (CO e TEMP).....	39
Figura 19	Função de pertinência para a variável entrada CO.....	40
Figura 20	Função de pertinência para a variável entrada TEMP.....	41
Figura 21	Função de pertinência para a variável de saída (número de internações)....	41
Figura 22	<i>Fis Editor</i> para o modelo multipolvente.....	42
Figura 23	Função de pertinência para a variável entrada PM _{2,5}	43
Figura 24	Função de pertinência para a variável entrada CO.....	43
Figura 25	Função de pertinência para a variável entrada TEMP.....	43
Figura 26	Função de pertinência para a variável de saída (número de internações) para o modelo multipolventes.....	44
Figura 27	Distribuição de frequência das concentrações de PM _{2,5} para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.....	46

Figura 28	Distribuição de frequência das concentrações de CO para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.....	47
Figura 29	Distribuição de frequência da temperatura para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.....	47
Figura 30	Distribuição de frequência das internações para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.....	48
Figura 31	Estrutura do modelo <i>fuzzy</i> para entradas PM _{2,5} e TEMP.....	51
Figura 32	Regras <i>fuzzy</i> editadas no programa Matlab para o modelo unipolvente (PM _{2,5} e TEMP).....	51
Figura 33	Superfície do modelo <i>fuzzy</i> , para as entradas PM _{2,5} e TEMP.....	52
Figura 34	Curvas ROC construídas com dados obtidos do modelo para o PM _{2,5} , <i>lag</i> 1, <i>lag</i> 2 e <i>lag</i> 3 respectivamente, Volta Redonda, 2012.....	53
Figura 35	<i>Rule viewer</i> para o modelo PM _{2,5} e TEMP (exemplo 1).....	54
Figura 36	<i>Rule viewer</i> para o modelo PM _{2,5} e TEMP (exemplo 2).....	55
Figura 37	Estrutura do modelo <i>fuzzy</i> para entradas CO e TEMP.....	55
Figura 38	Superfície do modelo <i>fuzzy</i> , para as entradas CO e TEMP.....	56
Figura 39	Curvas ROC construídas com dados reais, para o CO, <i>lag</i> 1, <i>lag</i> 2 e <i>lag</i> 3 respectivamente, Volta Redonda, 2012.....	57
Figura 40	<i>Rule viewer</i> para o modelo CO e TEMP (exemplo 1).....	58
Figura 41	<i>Rule viewer</i> para o modelo CO e TEMP (exemplo 2).....	58
Figura 42	Estrutura do modelo <i>fuzzy</i>	59
Figura 43	Superfície do modelo multipolventes.....	61
Figura 44	Curvas ROC construídas com dados do modelo multipolvente (PM _{2,5} e CO), <i>lag</i> 1, <i>lag</i> 2 e <i>lag</i> 3 respectivamente, Volta Redonda, 2012.....	62
Figura 45	<i>Rule viewer</i> para o modelo multipolvente (exemplo 1).....	63
Figura 46	<i>Rule viewer</i> para o modelo multipolvente (exemplo 2).....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrões de qualidade do ar para os principais poluentes segundo a EPA dos Estados Unidos.....	18
Tabela 2	Padrões nacionais de qualidade do ar, segundo a resolução CONAMA nº 3 de 28/6/90.....	19
Tabela 3	Critérios para episódios agudos de poluição do ar.....	21
Tabela 4	Estrutura do índice de qualidade do ar, segundo concentrações dos poluentes divulgado pela CETESB, 2014.....	23
Tabela 5	Qualidade do ar e efeitos à saúde.....	23
Tabela 6	Dados de entrada (PM _{2,5} e TEMP) e suas variações.....	37
Tabela 7	Classificação quanto ao nível de material particulado e temperatura.....	38
Tabela 8	Classificações e intervalos da variável de saída para o modelo unipolvente (PM _{2,5} e TEMP).....	39
Tabela 9	Dados de entrada (CO e TEMP) e suas variações.....	40
Tabela 10	Classificação quanto ao nível de monóxido de carbono e temperatura.....	40
Tabela 11	Classificações e intervalos da variável de saída para o modelo unipolvente (CO e TEMP).....	41
Tabela 12	Dados de entrada e suas variações.....	42
Tabela 13	Classificação quanto ao nível de material particulado fino, monóxido de carbono e temperatura.....	42
Tabela 14	Classificações e intervalos da variável de saída.....	44
Tabela 15	Valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos das variáveis: PM _{2,5} , CO, TEMP e INTER, Volta Redonda, RJ – 2012.....	46
Tabela 16	Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para o modelo PM _{2,5} e TEMP, Volta Redonda, 2012.....	52
Tabela 17	Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para o modelo CO e TEMP, Volta Redonda, 2012.....	56
Tabela 18	Regras geradas por especialista para o modelo <i>fuzzy</i> multipolventes.....	60
Tabela 19	Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para os dados do modelo multipolvente.....	61

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CCATT - BRAMS	<i>Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System</i>
CEC	<i>Comission of the European Communities</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPTEC	Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos
DATASUS	Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OMS	Organização Mundial de Saúde
PPB	Partícula por bilhão
SIF	Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	PLANO DA DISSERTAÇÃO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	BREVE HISTÓRICO DA POLUIÇÃO PELO MUNDO.....	16
2.2	POLUENTES DO AR.....	19
2.3	EFEITOS DA POLUIÇÃO NA SAÚDE.....	24
2.4	CCATT – BRAMS.....	25
2.5	LÓGICA <i>FUZZY</i>	27
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	LOCAL DE ESTUDO.....	32
3.2	TIPO DE ESTUDO.....	32
3.2.1	BANCO DE DADOS.....	33
3.2.2	MODELO <i>FUZZY</i>	37
3.2.3	OBTENÇÃO DOS VALORES.....	44
3.2.4	CURVA <i>ROC</i>	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no ano de 2012, ocorreu cerca de 1,3 milhão de internações por doenças do aparelho respiratório, sendo que no estado do Rio de Janeiro foram cerca de 60 mil; o custo no Brasil dessas internações foi de aproximados R\$ 1,2 bilhão e no Rio de Janeiro de aproximados R\$ 55 milhões (DATASUS, 2012).

Dentre as causas multifatoriais responsáveis por doenças respiratórias podem-se destacar o tabagismo ativo e passivo, doenças alérgicas, aglomerações, exposição à poluição atmosférica e outros (Cançado *et al.* 2006; Nascimento *et al.* 2006; Ignotti *et al.* 2010; Koifman *et al.* 2011; Arbex *et al.* 2012; Gouveia e Habermann 2012; Cesar, Nascimento, Carvalho, 2013; Nascimento e Francisco 2013).

A poluição atmosférica é caracterizada pela presença de componentes nocivos à saúde dos seres vivos na atmosfera. Esses componentes têm origem veicular e industrial.

Dentre os principais poluentes na atmosfera podem se destacar o ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e material particulado (PM) que, associados com a umidade relativa do ar (UR) e a temperatura (T), podem contribuir para o surgimento e agravamento das doenças respiratórias (São Paulo a, 2014).

Estudos desenvolvidos em cidades de porte médio como Sorocaba, Piracicaba, Araraquara e São José dos Campos mostram o papel danoso da exposição a esses poluentes do ar na saúde humana, e que esses efeitos não acontecem somente em grandes centros urbanos (Nascimento *et al.* 2006; Arbex *et al.* 2012; Cesar, Nascimento, Carvalho, 2013). A análise da associação entre a exposição aos poluentes e as internações costuma utilizar técnicas estatísticas como, por exemplo, o modelo aditivo ou linear generalizado de regressão de *Poisson*.

Os dados de poluentes do ar costumam ser fornecidos por agências ambientais dos estados. No caso de não haver estações medidoras, uma possibilidade para solucionar este problema é utilizar dados estimados por modelagem como o CCATT-BRAMS (Freitas *et al.*, 2007). Nessa forma de abordagem, admite-se que a concentração é homogênea em todo o município, existindo uma incerteza nessa consideração. Essa incerteza pode ser contornada utilizando a lógica *fuzzy*.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi apresentada em 1964 por Lotfi A. Zadeh. Esta lógica também é conhecida como lógica difusa ou nebulosa, e é uma extensão da lógica clássica, que admite valores intermediários entre 0 e 1 (falso e verdadeiro), enquanto que na lógica clássica, um elemento possui apenas dois graus de pertinência (pertence ou não pertence) a um

determinado conjunto, na lógica *fuzzy*, pode-se verificar o grau de pertinência deste elemento a um ou mais conjuntos, ou seja, esse elemento possui diferentes graus de pertinência.

Neste contexto, a seguir serão apresentadas as justificativas e o objetivo deste trabalho:

1.1. JUSTIFICATIVA

As concentrações de $PM_{2,5}$ e CO foram estimadas por modelagem matemática (CCATT – BRAMS), estes dados trazem uma incerteza. Desta forma, a utilização de abordagem *fuzzy* se justifica, porque esta lógica é capaz de trabalhar com a incerteza relacionada ao significado das palavras (Mendel, 2001).

A justificativa deste projeto baseia-se no fato de serem poucos estudos que utilizam a lógica *fuzzy* para estimar o número de internações por doenças respiratórias relacionados aos efeitos da exposição aos poluentes na população.

1.2. OBJETIVO

Construir um modelo preditivo utilizando o Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF), para estimar o número de internações por doenças respiratórias, pela exposição aos poluentes $PM_{2,5}$ e CO, obtidos pelo modelo matemático – CCATT-BRAMS, em residentes na cidade de Volta Redonda – RJ.

1.3. PLANO DA DISSERTAÇÃO

No próximo capítulo serão apresentadas as revisões bibliográficas: um breve histórico de poluição pelo mundo; poluentes do ar; efeitos da poluição na saúde; CCATT – BRAMS e lógica *fuzzy*. No capítulo 3 são mostrados a metodologia do estudo, que é composta por local de estudo, tipo de estudo, a rotina para obter os bancos de dados necessários para a realização desse estudo, e o modelo *fuzzy*. O capítulo 4 mostra os resultados do modelo proposto e a discussão. E o último capítulo traz a conclusão e considerações finais da dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. BREVE HISTÓRICO DA POLUIÇÃO PELO MUNDO

Desde a Revolução Industrial a poluição do ar representa um risco à população. A partir do século XX as cidades ficaram mais populosas e maiores e com isso houve um aumento na frota veicular. Esses fatores colaboraram com o aumento da poluição do ar e contribuíram com o acontecimento de episódios críticos da poluição atmosférica relatados a seguir.

Segundo Braga *et al.*, (2001), em 1930 uma espessa névoa cobriu a zona industrial da Bélgica e a população foi acometida por doenças respiratórias (tosse, dores no peito, dificuldades de respirar, irritação na mucosa nasal e nos olhos). Esse fato ocorreu em uma região de aproximados vinte quilômetros de comprimento de concentração industrial, por consequência da ausência de ventos a poluição não se dispersou, resultando em 60 óbitos em cinco dias, a maioria desses óbitos em pessoas com doenças respiratórias ou cardiovasculares ou idosos.

Entre 27 a 30 de outubro do ano de 1948 na Pensilvânia, a presença de um anticiclone, seguido de uma inversão térmica conjugada com a ausência de ventos, propiciou sobre a cidade a formação de uma névoa escura durante todo o período (Figura 1). Foram registradas 20 mortes e quase seis mil internações entre os 14 mil habitantes da cidade, sendo que normalmente eram esperadas duas mortes apenas para o mesmo período, em condições rotineiras.

Figura 1: Pensilvânia, outubro de 1948.



Fonte: Bettmann/Corbis (2007).

Segundo Russo (2014), no ano de 1952 em Londres, houve um episódio que se tornou famoso, conhecido como a “névoa negra” ou “grande nevoeiro de 1952” (Figura 2), causado pelos aquecedores domiciliares e pelas indústrias. Essa poluição ficou sobre a cidade por aproximadamente três dias. Na semana seguinte a esse episódio foram constatadas quatro mil mortes a mais do que o esperado e a curva de mortalidade somente se normalizou dois meses depois, totalizando oito mil mortes além do esperado.

Figura 2: O clima durante o Grande Nevoeiro de 1952 e a praça da *Nelson's Column* em dia de céu limpo.



Fonte: Wikipedia (2014).

Ainda, segundo Russo (2014), muitos outros fatos de poluição do ar têm sido registrados na Cidade do México, Los Angeles, Detroit, São Paulo, Londres, Tóquio e Osaka. Nessas cidades, mesmo quando a concentração de poluentes está aceitável, os moradores podem estar sujeitos a uma gama de doenças respiratórias, pois o risco se dá pelo grande tempo de exposição, já que uma substância tóxica, mesmo que presente em pequena quantidade no ar, pode se tornar perigosa por seu efeito cumulativo no organismo.

Com vários episódios de poluição do ar ocorrendo, os pesquisadores perceberam a importância de realizarem pesquisas com o objetivo de controlar o índice de emissão de poluentes no ar.

Assim, segundo Braga *et al.* (2001), foi criado em 1955 nos Estados Unidos um programa federal de poluição atmosférica, responsável pelo controle da emissão de diversos poluentes atmosféricos. Mas somente na década de 60 foram estabelecidos padrões de qualidade do ar (Tabela 1), nascendo assim a Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA).

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar para os principais poluentes segundo a EPA dos Estados Unidos.

Poluentes	Padrões primários	Tempo médio
Partículas inaláveis	50 µg/m ³	Média aritmética anual
(PM ₁₀)	150 µg/m ³	Nível limite para 24 horas
Ozônio (O ₃)	0,12 ppm (235 µg/m ³)	Média de 1 hora máxima diária
Dióxido de enxofre (SO ₂)	0,03 ppm (80 µg/m ³)	Média aritmética anual
	0,14 ppm (365 µg/m ³)	Nível máximo em 24 horas
Monóxido de carbono (CO)	9 ppm (10 µg/m ³)	Média máxima de 8 horas
	35 ppm (40 µg/m ³)	Nível máximo em 1 hora
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	0,053 ppm (100 µg/m ³)	Média aritmética anual

Fonte: Bascon *et al.* (1996).

A Europa, nos anos 70, também apresentou medidas de controle. Em 1976 a CEC (Comissão de Países Europeus) estabeleceu padrões de qualidade do ar que foram sendo aprimorados ao longo dos anos. No Brasil, Braga *et al.* (2001) citam em seu estudo que há dois padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação federal:

- Padrões primários de qualidade do ar aqueles quando as concentrações de poluentes ultrapassam os limites estabelecidos, e podem causar danos na saúde da população;
- Padrões secundários de qualidade do ar aqueles quando as concentrações dos poluentes estão abaixo dos limites estabelecidos, e podem causar o mínimo efeito na saúde da população, da fauna e da flora.

Essa definição foi transformada em resolução pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 1990, definindo que os padrões primários devem ser alcançados em curto e médio prazo e os padrões secundários devem ser alcançados em longo prazo.

A Tabela 2 mostra que os mesmos padrões primários adotados pelo CONAMA são os mesmos adotados pelo EPA.

Tabela 2: Padrões nacionais de qualidade do ar, segundo a resolução CONAMA nº 3 de 28/6/90.

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas (1)	240	150
	MGA (2)	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas	365	100
	MAA (3)	80	40
Monóxido de carbono	1 hora (1)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora (1)	160	160
Fumaça	24 horas (1)	150	100
	MAA (3)	60	40
Partículas inaláveis (PI)	24 horas (1)	150	150
	MAA (3)	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora (1)	320	190
	MAA (3)	100	100

1 – Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano;

2 – MGA – média geométrica anual;

3 – MAA – média aritmética anual.

Fonte: Braga *et al.* (2001).

Essa resolução determinou três critérios para a poluição do ar: atenção, alerta e emergência, apresentados a seguir.

2.2. POLUENTES DO AR

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (São Paulo a, 2014).

A associação entre a poluição do ar e os efeitos na saúde se deu logo após ao grande número de óbitos registrados em Londres, em 1952.

O monitoramento da qualidade do ar, com a avaliação das concentrações de poluentes no Estado de São Paulo foi iniciado na Região Metropolitana de São Paulo, em 1972, com a instalação de 14 estações para medição diária dos níveis de dióxido de enxofre (SO₂) e fumaça preta. Nessa época, a qualidade do ar passou a ser divulgada diariamente à população por meio de boletins encaminhados à imprensa (São Paulo b, 2014).

Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são emitidos diretamente das fontes de emissão e os secundários são formados através de reações químicas entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera (CETESB, 2014).

Essas fontes de poluição são divididas em móveis e fixas. As móveis são os veículos automotores, trens, aviões e embarcações e as fixas são as indústrias, usinas termelétricas e incineradores de resíduos. Há também fontes fixas naturais, que são os vulcões e os mares (Roman, 2014).

Dentre os poluentes estudados podemos destacar o ozônio (O₃), poluente secundário formado pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), para cada altitude que o ozônio se encontra, ele possui uma função. Na estratosfera ele absorve a radiação ultravioleta. Na troposfera (nível do solo) o ozônio é um gás poluente, que aumenta a temperatura da superfície juntamente com os outros poluentes.

O monóxido de carbono (CO), segundo a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), é um gás incolor e inodoro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa, etc.). As maiores concentrações de CO estão nos centros urbanos, devido ao grande número de veículos e indústrias (CETESB, 2014).

Conforme CETESB, o óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são formados durante processos de combustão. Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio. O NO, sob a ação de luz solar se transforma em NO₂ e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde (CETESB, 2014).

Ainda segundo CETESB (2014), o material particulado (PM), é um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são os veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado é classificado de acordo com o diâmetro das partículas: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas

Inaláveis (PM₁₀), Partículas Inaláveis Finas (PM_{2,5}) e fumaça (FMC). Quanto menor é o diâmetro, maior é a possibilidade de adentrar no trato respiratório.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros estabelecidos pela CETESB para episódios agudos de poluição do ar. Quando as partículas inaláveis finas (PM_{2,5}) chegam a um nível de concentração de 125 µg/m³ é declarado um estado de atenção; quando o nível de concentração alcança 210 µg/m³, o estado muda para alerta; e quando o nível ultrapassa 250 µg/m³, o estado é de emergência. O mesmo ocorre para os demais poluentes da tabela com seus respectivos valores de concentrações.

Os padrões federais de qualidade do ar assim como os parâmetros para episódios agudos de poluição do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº 03/90 (BRASIL, 2014) podem ser visualizados no site do Ministério de Meio Ambiente.

Tabela 3: Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013).

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas inaláveis finas (µg/m ³) - 24h	125	210	250
partículas inaláveis (µg/m ³) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre (µg/m ³) - 24h	800	1.600	2.100
dióxido de nitrogênio (µg/m ³) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio (µg/m ³) - 8h	200	400	600

Fonte: Cetesb (2014).

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Esse índice foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida nos EUA.

Segundo Braga *et al.* (2001), com base nos critérios para episódios agudos de poluição do ar, se tem valores adimensionais para a qualidade do ar, classificando a qualidade do ar em seis categorias:

- Boa (0 – 50): todos os poluentes apresentam concentrações abaixo de 50% de seus níveis dos padrões de qualidade;

- Regular (51 – 100): pelo menos um dos poluentes atingi sua concentração no nível dos padrões de qualidade do ar;
- Inadequada (101 – 199): pelo menos um dos poluentes apresenta concentração entre o seu padrão de qualidade e o nível de atenção;
- Má (200 – 299): pelo menos um dos poluentes apresenta concentração entre o nível de atenção e alerta;
- Péssima (300 – 399): pelo menos um dos poluentes apresenta concentração entre o nível de alerta e emergência;
- Crítica (maior que 400): pelo menos um dos poluentes apresenta concentração acima do nível de emergência.

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) são: partículas inaláveis (PM_{10}), partículas inaláveis finas ($PM_{2,5}$), fumaça (FMC), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2). Para cada poluente medido é calculado um índice adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, conforme apresentado na Tabela 4.

Quando a qualidade do ar é classificada como BOA, os valores-guia para exposição de curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no decreto nº 59.113/2013, estão sendo atendidos.

Para cada poluente medido é calculado um índice, sendo que para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado. Isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade em vigor, e será sempre realizada conforme a Tabela 5.

Tabela 4: Estrutura do índice de qualidade do ar, segundo concentrações dos poluentes divulgado pela CETESB, 2014.

Qualidade	Índice	MP ₁₀	MP _{2,5}	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂
		(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 8h	(ppm) 8h	(µg/m ³) 1h	(µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 – 9	0 - 200	0 – 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 - 240	>20 – 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 – 150	>50 - 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 - 320	>40 – 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 - 1130	>365 – 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: Cetesb (2014).

Tabela 5: Qualidade do ar e efeitos à saúde

Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 - 40	
N2 - Moderada	41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3- Ruim	81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4- Muito Ruim	121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5- Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Cetesb (2014).

Individualmente, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentração distintas, identificados por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do país. Tais efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada. A seguir serão apresentados os efeitos que a exposição aos poluentes causam na saúde.

2.3. EFEITOS DA POLUIÇÃO NA SAÚDE

Segundo Nascimento *et al.* (2006), os componentes da contaminação atmosférica antropogênica atingem o organismo predominantemente por via inalatória. É de se esperar que seus principais efeitos se manifestem no trato respiratório.

A exposição aos poluentes ambientais é reconhecida como um importante fator de risco para a ocorrência das internações hospitalares. Dentre os poluentes atmosféricos associados a esses desfechos, destacam-se dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃) e material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µg (PM₁₀).

O dióxido de enxofre é reconhecidamente irritante respiratório, absorvido nas vias aéreas superiores e se deposita nas porções mais inferiores destas e no parênquima pulmonar. Ele causa decréscimo da função pulmonar e até mesmo necrose pulmonar em animais. As fontes principais são indústrias que utilizam carvão mineral e derivados de petróleo, além de veículos automotivos que utilizam combustíveis fósseis.

O ozônio, próximo à superfície da Terra, resulta de reações fotoquímicas de poluentes com a radiação solar. Pode atingir as porções mais profundas dos pulmões podendo causar inflamação e diminuição da função pulmonar. É um poderoso oxidante, participando de reações intra e extracelulares com envolvimento de enzimas importantes para o metabolismo.

O material particulado, originário principalmente da queima de combustíveis fósseis, pode ter meia vida de alguns dias até anos. Ele está associado ao aumento de sintomas e de doenças respiratórias, provocando aumento e piora no número de casos nos sintomas de asma, pois o material particulado inalado pode atingir até os alvéolos.

A maioria dos estudos conduzidos no Brasil avaliando poluição atmosférica e doenças respiratórias foram desenvolvidos em grandes centros urbanos, tais como São Paulo, onde Gouveia *et al.* (2006) analisaram a associação entre a exposição à poluição do ar e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares em crianças e idosos. Observaram que o aumento do nível de poluentes e as internações apresentaram uma associação positiva.

Segundo Daumas, Mendonça e León (2004), no Rio de Janeiro, no período de 1990 a 1993 não houve uma associação estatisticamente significativa entre poluição do ar por partículas totais em suspensão (PST) e mortalidade em idosos por doenças do aparelho circulatório e doenças do aparelho respiratório, mas concluíram que pode haver um aumento no risco de mortalidade em idosos.

Em Curitiba, Bankonyi *et al.* (2004), estudaram os efeitos causados pela poluição atmosférica na morbidade por doenças respiratórias em crianças. Concluíram associações positivas entre material particulado, fumaça, dióxido de nitrogênio e ozônio e as doenças respiratórias. Mesmo quando os níveis desses poluentes estão abaixo do padrão de qualidade do ar, eles podem interferir no perfil da morbidade.

Entretanto, pouco tem sido estudado sobre os efeitos da poluição do ar, predominantemente gerada pela atividade industrial e pela frota de veículos fora da abrangência geográfica de grandes centros metropolitanos.

2.4. CCATT – BRAMS

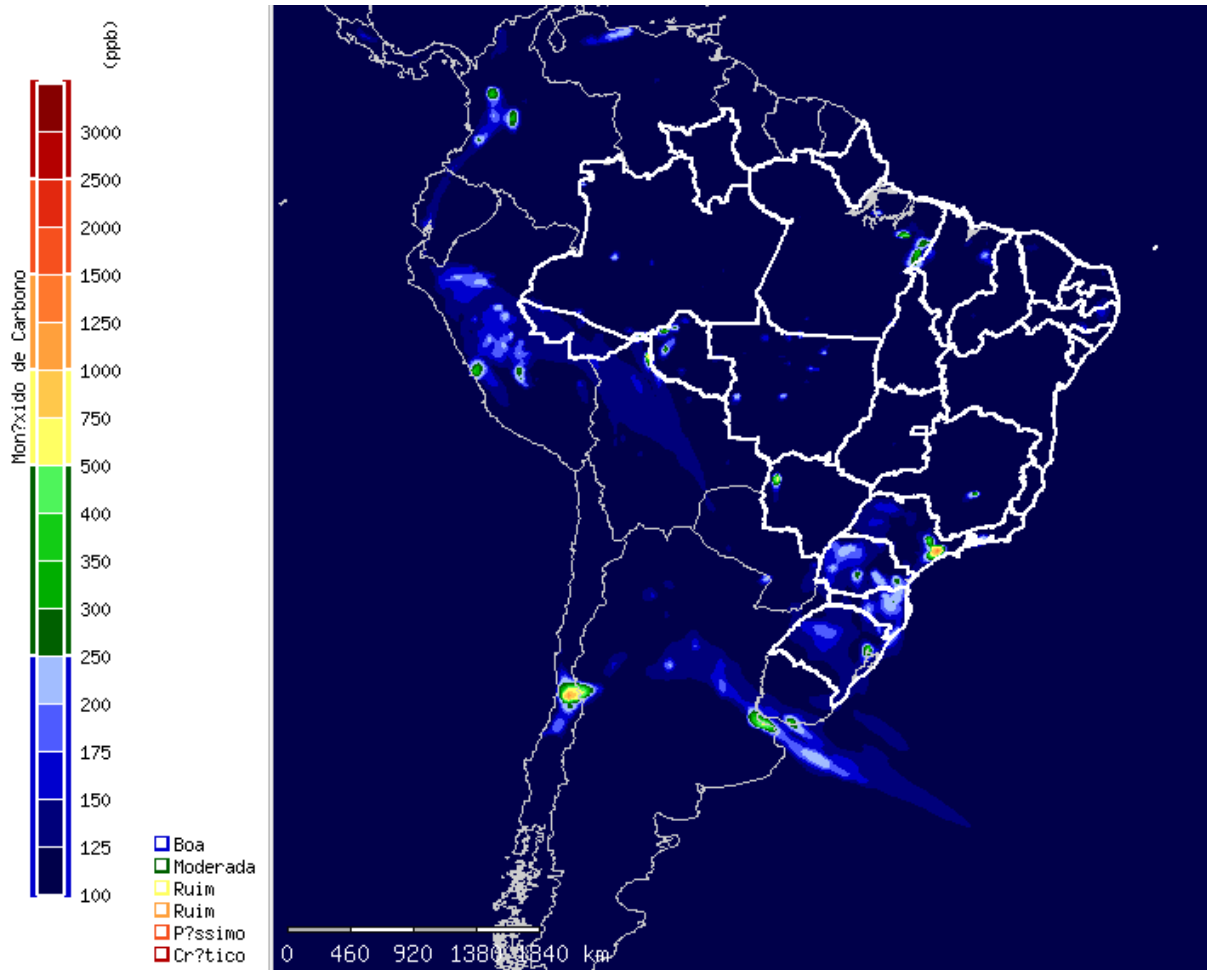
A maioria dos estudos que estima os efeitos da exposição aos poluentes do ar na saúde humana, utiliza concentrações desses poluentes fornecidos por agências ambientais estaduais que quantificam os poluentes do ar. No entanto, em muitos municípios não existem estações meteorológicas e em alguns casos, apenas um ou outro poluente é monitorado. Uma alternativa é a utilização de dados estimados por modelagem como o *Coupled Chemistry Aerosol-Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System* (CCATT – BRAMS), (Freitas *et al.*, 2007; Longo *et al.*, 2007).

A Figura 3 mostra o monitoramento para o monóxido de carbono realizado pelo CCATT – BRAMS em 30/junho/2015, onde o CO é quantificado em ppb (partícula por bilhão). É possível observar que há concentrações consideráveis nas regiões metropolitanas como São Paulo, Porto Alegre, Belo Horizonte, Santiago, Lima, Bogotá, Buenos Aires e Montevideo entre outras regiões.

CCATT – BRAMS é um modelo matemático que possibilita realizar simulações numéricas de tempo e clima, resolvendo explicitamente fenômenos de grandes escalas espaciais e parametrizando os processos que ocorrem em escalas menores que a resolução espacial do modelo (processos sub-grade). O CPTEC/INPE executa este modelo de forma operacional,

produzindo diariamente diagnósticos e previsões para até três dias, com abrangência para toda a América do Sul.

Figura 3: Monitoramento do CO pelo do CCATT – BRAMS em 30/07/2015.



Fonte: CPTEC-INPE (2015).

O modelo considera o transporte e emissão de vários gases e partículas de aerossóis, sendo essa estimada por meio do número e localização de focos de incêndios observados por sensoriamento remoto, gerando estimativas diárias de diversos poluentes (monóxido de carbono, ozônio, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e material particulado). A resolução horizontal desta operação é de 25 km por 25 km, sete níveis de solo e 38 níveis atmosféricos, estando o primeiro nível a 38,8 metros acima do solo. Essas estimativas são realizadas a cada três horas, ou seja, 8 vezes ao dia (CPTEC/INPE). Este modelo foi validado por Freitas *et al.* (2007) e Ignotti *et al.* (2010).

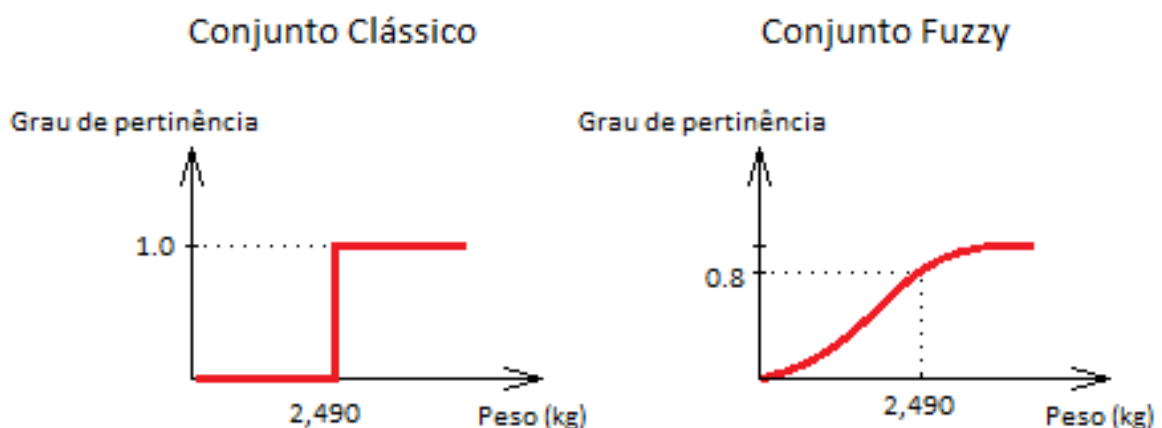
No caso do CCATT-BRAMS os dados são estimados, havendo uma incerteza implícita; uma das formas de se tratar a incerteza é a abordagem *fuzzy*.

2.5. LÓGICA FUZZY

Em 1965 a teoria *fuzzy* foi apresentada por Lotfi A. Zadeh. O termo *fuzzy* significa nebuloso, difuso, e trabalha com problemas de classificações de conjuntos que não possuem fronteiras bem definidas ou seja, a transição entre os conjuntos é suave e não abrupta (Ortega, 2001), como mostra a Figura 4.

Em problemas do cotidiano não há dificuldade em classificar se um certo elemento pertencente ou não a um conjunto. Assim, na lógica de predicados o recém-nascido que nasce com 2,490 kg pertence ao conjunto baixo peso e para quem nasce com 2,510 kg ou mais pertence ao conjunto peso normal. Nessa situação, o recém-nascido pertence ou ao conjunto de baixo peso ou ao conjunto de peso normal, esses conjuntos são auto excludentes. É muito difícil, na maioria das vezes impossível, identificar diferenças fisiológicas, neuro psicomotoras, bioquímicas, físicas entre essas crianças (baixo peso e peso normal). Neste caso, a lógica *fuzzy* explica como exemplo que um recém-nascido de 2,490 kg pertence mais ao conjunto de baixo peso e menos ao conjunto de peso normal, tendo grau de pertinência 0,8 ao conjunto de baixo peso e grau de pertinência 0,2 ao conjunto de peso normal e o recém-nascido de 2,510 kg tem grau de pertinência 0,8 ao conjunto peso normal e grau de pertinência 0,2 ao conjunto baixo peso (Nascimento, Rizol, Abiuzi, 2009).

Figura 4: Conjunto clássico x conjunto *fuzzy*

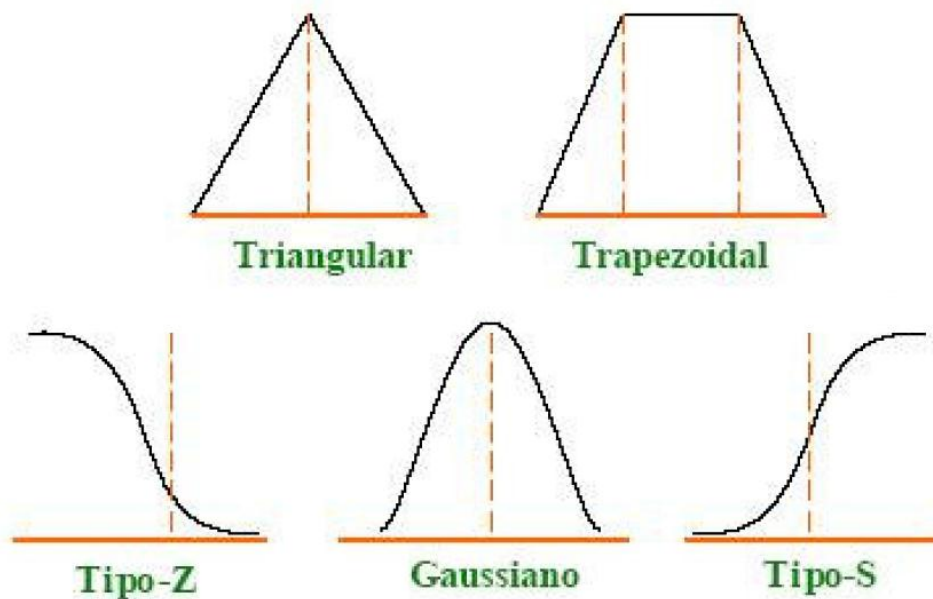


Nessa situação, o sujeito pode pertencer a dois conjuntos, mas com graus de pertinências quantificadas diferentemente. Zadeh flexibilizou a pertinência de elementos aos conjuntos criando a ideia de grau de pertinência, de modo que um elemento pode pertencer parcialmente a um conjunto (Ortega, 2004).

Essas funções de pertinência (como: baixo, médio e alto) são representadas por variáveis linguísticas, como na situação descrita anteriormente: baixo peso e peso normal. São caracterizadas por um conjunto *fuzzy* em um universo de discurso, que na situação citada é o peso em quilogramas. As funções de pertinência mais conhecidas são: triangular, trapezoidal e a gaussiana, entre outras (Figura 5).

Segundo Caldeira *et al.* (2007), a função de pertinência é bastante subjetiva. Quando uma função é especificada para um mesmo conceito, esta pode apresentar resultados variados quando definida por especialistas diferentes. A função de pertinência define o quanto um elemento pertence a um conjunto e também representa os limites de cada um destes conjuntos *fuzzy*. Este trabalho foi realizado com as funções de pertinência do tipo trapezoidal, pois apresentou melhores resultados, foram testadas outras funções de pertinência, mas não atingiram bons resultados.

Figura 5: Representação das principais funções de pertinência.



Fonte: Rocha (2005).

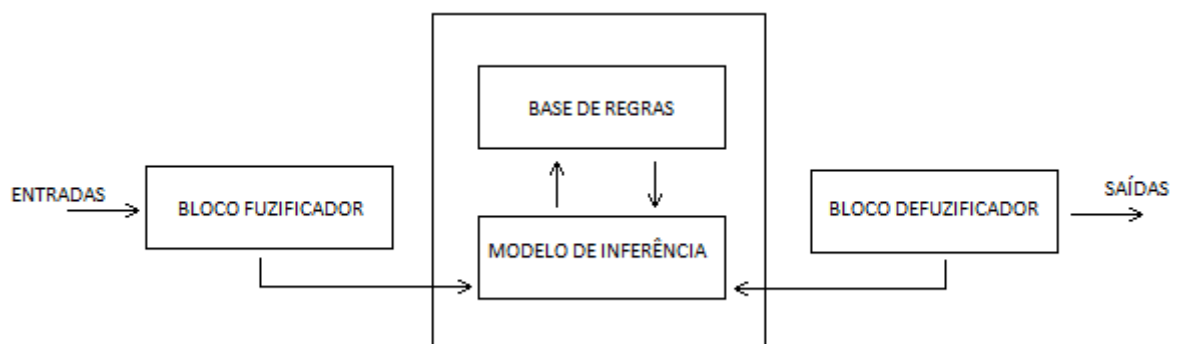
O sistema de inferência *fuzzy* (Figura 6) é composto pelo bloco fuzificador, bloco de inferência, base de regras e bloco defuzificador.

O bloco fuzificador tem a função de transformar o valor de entrada real (*crisp*) em seu valor *fuzzy* correspondente (Rocha, 2005).

O módulo de inferência é o bloco central, onde são processadas as regras que formam a base de conhecimento utilizada pelo processador para solucionar um determinado problema, gerando os valores de saída *fuzzy*.

A base de regras é um conjunto de regras proposicionais do tipo (**SE** → **ENTÃO**), elaboradas com o auxílio de um especialista. O sistema de inferência *fuzzy* funciona de acordo com a base de regras. E o bloco defuzificador realiza a operação inversa do bloco fuzificador, ou seja, transforma o valor *fuzzy* em valor real.

Figura 6: Diagrama de blocos do sistema de inferência *fuzzy*.



A seguir será apresentado um breve histórico sobre a lógica *fuzzy* segundo Tanaka (1996) e Ortega (2001).

A comunidade científica demonstrou resistência para aceitar a teoria da lógica *fuzzy*, principalmente pelos estatísticos norte-americanos. Em contrapartida, muitos pesquisadores enxergaram possibilidades que essa teoria oferecia, surgindo assim trabalhos por todo o mundo.

Em 1974, Ebrahim Mamdani da Universidade de Londres aplicou a lógica *fuzzy* para controle pela primeira vez - o controle de um motor a vapor simples.

Em 1977, Didier Dubois aplicou os conjuntos *fuzzy* em um estudo sobre condições de tráfego e neste mesmo ano surgiu o primeiro sistema especialista *fuzzy*.

Em 1980 foi apresentada a primeira aplicação industrial da lógica *fuzzy*, desenvolvido pelo FH Smidth, na Dinamarca. Esta aplicação consistiu de um controlador *fuzzy* que incorporava o conhecimento e a experiência dos operários para controle de um forno de cimento.

A associação internacional sistema *fuzzy* (IFSA) foi criada em 1984, como a primeira organização acadêmica para profissionais e estudiosos da lógica *fuzzy*.

O Japão foi o país pioneiro a utilizar a lógica *fuzzy*. Nos anos 80, a Fuji Electric do Japão aplicou a lógica *fuzzy* para o controle de um processo de purificação de água. Em 1987, a Hitachi

inaugurou com sucesso o primeiro trem controlado com lógica *fuzzy*, no sistema do metrô de Sendai, no Japão. Foi também neste ano que a Yamaha desenvolveu seu helicóptero não-tripulado, Yamaha-50, totalmente controlado por um controlador *fuzzy*, dando origem a era do desenvolvimento tecnológico proporcionado por esta teoria.

Em 1988 começou a operar no *Yamaichi Fuzzy Fund* o primeiro sistema de comércio financeiro *fuzzy*. Mas foi em 1990 que esta teoria atingiu a popularidade com o lançamento no mercado da primeira máquina de lavar roupas *fuzzy*, marcando o início do desenvolvimento de produtos de consumo.

Hoje é possível encontrar, principalmente no Japão, eletrodomésticos cujo sistema é baseado em controle *fuzzy* (televisão, câmera fotográfica, panela para cozimento de arroz, vídeos, etc.) e existem atualmente várias empresas que possuem laboratórios de pesquisa em lógica *fuzzy* para desenvolvimento de seus produtos. Estudos tem mostrado a eficácia da lógica *fuzzy* em diversas áreas.

Na saúde, Nascimento e Ortega (2002) utilizaram pela primeira vez a aplicação da lógica *fuzzy* para estimar o risco da mortalidade neonatal. Como variável foram selecionados o peso ao nascer e a idade gestacional e compararam os resultados do modelo com os valores atribuídos por especialistas. O modelo atingiu uma boa acurácia quando comparado com as estimativas dos especialistas.

Em 2003, Fisher apresentou uma revisão analisando a poluição do ar sob a ótica da lógica *fuzzy*. E verificou que os níveis de poluição estimados por modelos matemáticos não atingiam as incertezas características do modelo e por isso, utilizou a lógica *fuzzy* para solucionar essas incertezas.

Em 2004, Pereira *et al.* publicaram um modelo *fuzzy* para diagnósticos de pneumonia em crianças, associando e prevendo esses diagnósticos por meio da lógica *fuzzy*. Nesse estudo foi comparado o cálculo de probabilidade e modelos *fuzzy* para a análise da relação entre os sinais clínicos e de diagnóstico (pneumonia, outras doenças não-pneumonia, ausência de doença) em crianças. Foi concluído que a teoria de conjuntos *fuzzy* pode não melhorar a previsão, mas certamente faz aumentar o conhecimento clínico, uma vez que detecta relacionamentos não visíveis em modelos de probabilidade, pois a lógica *fuzzy* trabalha com variáveis linguísticas.

Em 2009, Nascimento, Rizol e Peneluppi estimaram o risco de óbitos de recém-nascido usando lógica *fuzzy*. Como variável foram selecionados o peso ao nascer, idade gestacional, Apgar e natimorto. O modelo atingiu uma boa acurácia quando comparado com as estimativas dos especialistas.

Em 2014, Nascimento *et al.* estimaram o tempo médio de duração de internação por pneumonias em crianças segundo a abordagem *fuzzy*. Os valores previstos pelo modelo foram significativamente correlacionados com dados reais. Os poluentes predisseram significativamente o tempo médio de internação em defasagens 0, 1 e 2.

O objetivo desse breve histórico é ilustrar o desenvolvimento da teoria *fuzzy* e quão abrangente tem sido suas aplicações. Nota-se um interesse crescente por esta teoria por profissionais e pesquisadores das mais diversas áreas, dada a sua capacidade de explorar variáveis linguísticas, da possibilidade de desenvolver raciocínios mais próximos do humano, da sua diversidade de aplicações (Ortega, 2001). No próximo capítulo é apresentada a metodologia para elaboração do modelo *fuzzy* para estimar o número de internações por doenças respiratórias de acordo com a concentração de poluentes do ar.

3. METODOLOGIA

3.1. LOCAL DE ESTUDO

Volta Redonda é uma cidade de médio porte localizada no Vale do Paraíba fluminense e que possui importante polo siderúrgico. Situa-se nas coordenadas 22° 29' S e 44° 05' O, no trecho inferior do médio vale do Rio Paraíba do Sul, a 390 m acima do nível do mar. Tem clima úmido e tropical de altitude, localiza-se entre as serras do Mar e da Mantiqueira e é cortada por duas das principais rodovias brasileiras: Via Dutra (BR-116), ligando a cidade do Rio de Janeiro à cidade de São Paulo, e a Rodovia Lúcio Meira (BR-393). Além destas, conta ainda com a RJ-153, rodovia estadual que liga o município ao Sul de Minas Gerais. Todas as rodovias citadas possuem tráfego intenso (Figura 7). Em 2010, sua população era estimada em torno de 260 mil habitantes e com frota veicular estimada em 100 mil veículos (IBGE, 2014).

Figura 7: Mapa do município de Volta Redonda – RJ.



Fonte: Map data © 2014 Google.

3.2. TIPO DE ESTUDO

Trata-se de construção de modelo preditivo utilizando o Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF), com dados relativos a internações por doenças respiratórias cujos diagnósticos segundo

a CID 10 são de J12.0 a J18.9; J20.0 a J20.9; J21.0 a J21.9; J45.0 a J45.9, em sujeitos de ambos os sexos, sem distinção de idade, residentes em Volta Redonda, RJ. No texto a seguir, quando for citado doenças respiratórias ficam subentendidos os diagnósticos de pneumonias, bronquite, bronquiolite e asma.

Os dados diários de internação e das concentrações de poluentes e temperatura se referem àqueles de 01 de janeiro de 2012 a 31 de dezembro de 2012. Esses dados foram obtidos do Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde - DATASUS. Também foram coletados os dados estimados dos níveis dos poluentes ambientais: material particulado ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO), em suas médias diárias, estimados pelo CCATT – BRAMS.

A seguir, será apresentada a metodologia para obter o banco de dados deste trabalho:

3.2.1.BANCO DE DADOS

Os dados referentes às internações diárias por doenças respiratórias foram obtidos por meio da seguinte rotina: www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php, clicar: 1 - serviços, 2 - transferência de arquivos, 3 - SIHSUS (Figura 8).

Figura 8 - Caminho para obter planilha DATASUS.



Fonte: Datasus (2014).

Em seguida selecionar: dados, RD – AIH Reduzida, 2012, RJ, selecionar todos os meses, enviar (Figura 9).

Figura 9 - Arquivo para baixar planilhas DATASUS.

The screenshot shows a web interface for selecting data files. It includes several dropdown menus and checkboxes:

- A dropdown menu for "Arquivos Auxiliares de Tabulação" with options "Dados" (selected) and "Documentação".
- A label "Selecione um ou mais tipos de Arquivo" followed by a dropdown menu with options "RD - AIH Reduzida" (selected), "RJ - AIH Rejeitadas", "SP - Serviços Profissionais", and "ER - AIH Rejeitadas com código de erro".
- A label "Selecione o Ano:" followed by a dropdown menu with options "2013", "2012" (selected), "2011", "2010", and "2009".
- A label "Selecione uma ou mais UF" followed by a dropdown menu with options "PR", "RJ" (selected), "RN", "RO", "RR", "RS", "SC", and "SE".
- A label "Selecione um ou mais Meses" followed by a dropdown menu with options "Junho", "Julho", "Agosto", "Setembro", "Outubro", "Novembro", and "Dezembro".

Fonte: Datasus (2014).

Em seguida aparecerão os *links* de parte dos arquivos para *downloads* (Figura 10).

Figura 10 – Arquivos para downloads para obter planilha DATASUS.

Arquivos para Download				
<input type="checkbox"/> Marcar Todos		<input type="button" value="Baixar"/>		Selecionados:
Digitar o nome do arquivo para compactação com a extensão (.zip ou .rar): <input type="text"/>				
	Mês/Ano	Arquivo	Data Últ. Atualização	Tamanho
<input type="checkbox"/>	12/12	RDRJ1212.dbc	01/11/13	3,37 MB
<input type="checkbox"/>	02/12	RDRJ1202.dbc	01/11/13	3,40 MB
<input type="checkbox"/>	01/12	RDRJ1201.dbc	01/11/13	3,47 MB
<input type="checkbox"/>	11/12	RDRJ1211.dbc	01/11/13	3,53 MB
<input type="checkbox"/>	04/12	RDRJ1204.dbc	01/11/13	3,81 MB

Fonte: Datasus (2014).

Os arquivos vêm compactados em (.dbc) e são expandidos utilizando o programa TabWin (também disponível no mesmo portal) para (.dbf).

A planilha DATASUS possui 93 colunas. Foram selecionadas para esse projeto as informações referentes ao município de residência, nascimento, sexo, valor total, data de internação, data de saída, diagnóstico principal, idade, dias de permanência e morte (Figura 11).

Figura 11 – Planilha fornecida pelo DATASUS já filtrada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ESPEC	MUNIC_RES	NASC	SEXO	VAL_TOT	DT_INTER	DT_SAIDA	DIAG_PRINC	IDADE	DIAS_PERM	MORTE
2	03	330630	19361119	3	1613.81	20120101	20120117	J81	75	16	0
3	03	330630	19830128	3	692.62	20120102	20120112	J189	28	10	0
4	03	330630	19370512	1	44.22	20120103	20120104	I219	74	1	0
5	03	330630	19521001	3	1327.90	20120104	20120229	I200	59	56	0
6	03	330630	19640830	3	723.66	20120104	20120111	I500	47	7	0
7	03	330630	19270925	3	5142.68	20120104	20120117	I516	84	13	0
8	01	330630	19560402	1	5077.32	20120105	20120106	I200	55	1	0
9	03	330630	19510120	1	433.26	20120106	20120119	I608	60	13	0
10	03	330630	19640627	3	642.42	20120107	20120116	J158	47	9	0
11	03	330630	19360815	1	823.64	20120108	20120119	I500	75	11	0
12	01	330630	20050728	1	356.18	20120108	20120108	J352	6	0	0
13	03	330630	19510905	3	791.52	20120109	20120118	I500	60	9	0
14	07	330630	20090205	1	606.42	20120109	20120112	J189	2	3	0
15	03	330630	19350717	3	763.46	20120110	20120118	I500	76	8	0
16	03	330630	19510202	1	796.26	20120110	20120114	I509	60	4	0
17	01	330630	19701010	1	1164.37	20120110	20120202	J960	41	23	1
18	03	330630	19600808	3	643.70	20120111	20120124	J960	51	13	0
19	03	330630	19271108	1	606.42	20120112	20120116	J158	84	4	0
20	03	330630	19290827	1	723.60	20120112	20120125	J449	82	13	0
21	03	330630	19550718	1	1066.84	20120113	20120205	I219	56	23	0
22	01	330630	19380601	1	8323.26	20120113	20120114	I442	73	1	0
23	01	330630	19430625	1	8450.15	20120113	20120114	I442	68	1	0
24	01	330630	19740227	1	4435.82	20120113	20120117	I471	37	4	0
25	03	330630	19260208	1	1279.85	20120114	20120121	I470	85	7	0
26	03	330630	19181201	3	739.46	20120114	20120119	I500	93	5	0
27	03	330630	19391019	1	731.46	20120114	20120118	I500	72	4	0

Fonte: Datasus (2014).

Após a filtragem foi feita a contagem do número diário de internações dia a dia para o ano de 2012 (Figura 12).

Figura 12: Planilha para gerar o número de internações.

	A	B
1	DATA	INTER_RESP
2	01/01/2012	2
3	02/01/2012	6
4	03/01/2012	5
5	04/01/2012	7
6	05/01/2012	2
7	06/01/2012	1
8	07/01/2012	5
9	08/01/2012	2
10	09/01/2012	4

Foram coletados os dados dos níveis dos poluentes ambientais: material particulado ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO), em suas médias diárias, estimados pelo CCATT – BRAMS, bem como, a temperatura média estimada pelo mesmo modelo.

Conforme apresentado na Figura 13, o banco de dados final utilizado neste trabalho, é composto pelos seguintes dados de entrada: data (coluna A), $PM_{2,5}$ (coluna B), CO (coluna C) e temperatura (coluna D); e pelos dados de saída: número de internações por doenças respiratórias (coluna E).

Figura 13: Planilha desenvolvida no programa Excel.

	A	B	C	D	E
1	data	pm2,5	co	temp	INTER_RESP
2	1/1/2012	14.2146	161.802	20.2191	2
3	1/2/2012	18.2916	250.118	19.0522	6
4	1/3/2012	16.9215	189.668	21.038	5
5	1/4/2012	16.3721	152.299	21.1739	7
6	1/5/2012	16.0442	163.461	21.3272	2
7	1/6/2012	12.1894	141.958	21.5731	1
8	1/7/2012	12.9674	137.409	20.8434	5
9	1/8/2012	13.5766	135.934	18.6413	2
10	1/9/2012	12.7223	130.661	18.4252	4
11	1/10/2012	13.2088	134.798	16.4276	2
12	1/11/2012	13.1288	136.497	16.5691	2
13	1/12/2012	12.789	119.801	21.0303	3
14	1/13/2012	11.9863	108.429	22.1699	1
15	1/14/2012	14.0184	118.756	22.6567	0
16	1/15/2012	12.6921	121.886	23.2918	2
17	1/16/2012	13.5239	132.459	20.7063	4
18	1/17/2012	12.5029	141.116	23.4992	3
19	1/18/2012	16.9162	163.416	20.1922	5
20	1/19/2012	11.717	93.5103	19.8243	1
21	1/20/2012	12.715	101.474	20.1694	2
22	1/21/2012	12.3259	118.628	22.3857	1
23	1/22/2012	12.5584	114.094	22.5626	2
24	1/24/2012	12.4037	98.0576	23.6986	1
25	1/25/2012	12.2634	106.48	23.7608	4

Este banco de dados é utilizado para validar o modelo *fuzzy* (Mamdani) elaborado no *toolbox fuzzy* do Matlab, apresentado a seguir.

3.2.2. MODELO FUZZY

A seguir, são apresentados os dados de entrada e saída utilizados para elaborar o modelo *fuzzy*. A proposta é apresentar um método que permita estimar os números de interações por doenças respiratórias utilizando o sistema de inferência *fuzzy* do tipo Mamdani.

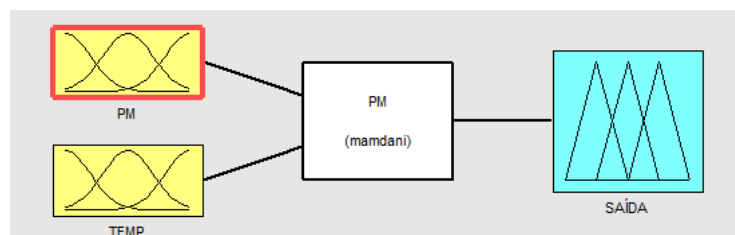
Neste trabalho foram elaborados três modelos: dois modelos unipoluentes com as variáveis de entrada: (PM_{2,5} e TEMP) e (CO e TEMP). E um modelo multipolvente com as variáveis de entrada: PM_{2,5}, CO e TEMP. Em todos os modelos a variável de saída foi o número de interações por doenças respiratórias.

Modelo 1: Unipolvente PM_{2,5} e TEMP

As variáveis de entrada para este modelo *fuzzy* foram material particulado fino (PM_{2,5}) e temperatura (TEMP). O universo de discurso para cada variável de entrada foi selecionado da planilha (Figura 13), ou seja, foram selecionadas as concentrações mínima e máxima do poluente PM_{2,5}, bem como os valores mínimo e máximo da temperatura.

O modelo foi desenvolvido usando o método de inferência proposta por Mamdani e foi implementado usando o *software* computacional do *toolbox fuzzy* Matlab 7.1. A Figura 14 apresenta a janela principal do sistema *fuzzy* com as variáveis de entrada e saída do sistema.

Figura 14: *Fis Editor* para o modelo unipolvente (PM_{2,5} e TEMP).



Na Tabela 6 é apresentada a classificação das variáveis de entrada obtidas por meio da base de dados.

Tabela 6: Dados de entrada (PM_{2,5} e TEMP) e suas variações.

Variável de entrada	Universo de discurso
PM _{2,5} (µg/m ³)	10 – 36
TEMP (°C)	10 – 32

Para classificar as variáveis de entrada foi realizada análise na base de dados estimados, para determinar o intervalo em que os índices de concentração dessas variáveis são baixo, médio ou alto, de acordo com o quanto prejudicial à saúde é o elemento em questão (Tabela 7). Os intervalos foram definidos através de uma clusterização manualmente.

Tabela 7: Classificação quanto ao nível de material particulado e temperatura.

PM _{2,5} (µg/m ³)		TEMP (°C)	
Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
[10; 15]	Baixo	[10; 17]	Baixo
[12; 21]	Médio	[11; 21]	Médio
[18; 36]	Alto	[19; 32]	Alto

Nas figuras 15 e 16, pode-se observar as funções de pertinência do tipo trapezoidal das variáveis de entrada PM_{2,5} e TEMP, respectivamente.

Figura 15: Função de pertinência para a variável entrada PM_{2,5}.

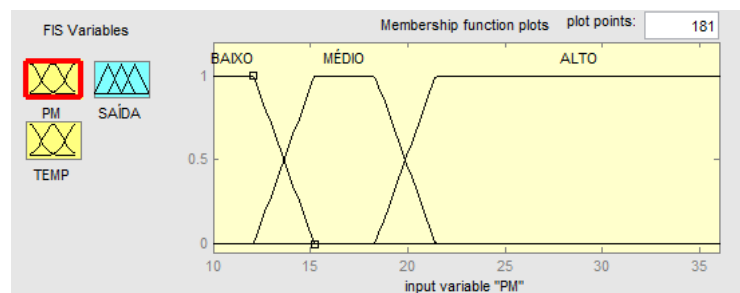
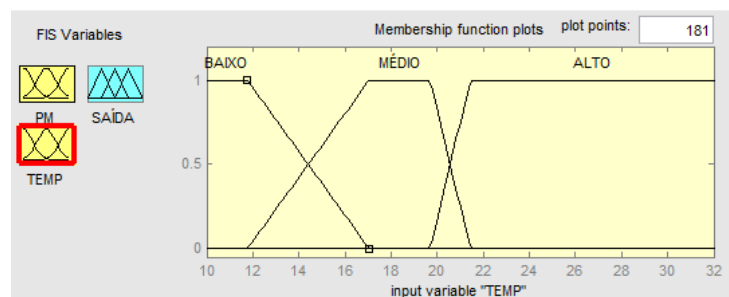
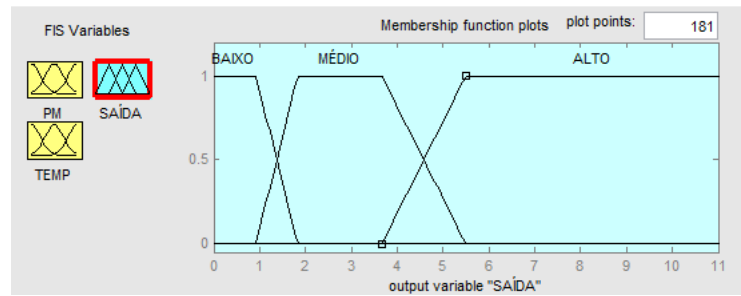


Figura 16: Função de pertinência para a variável entrada TEMP.



As variáveis linguísticas consideradas neste modelo para a saída (Figura 17) como baixo, médio e alto. Nessa figura optou-se por funções do tipo trapezoidal, pois apresentou melhores resultados.

Figura 17: Função de pertinência para a variável de saída (número de internações).



A variável de saída representa o número de internações de pacientes com doenças respiratórias, cuja variação é de zero a 11 internações (Tabela 8).

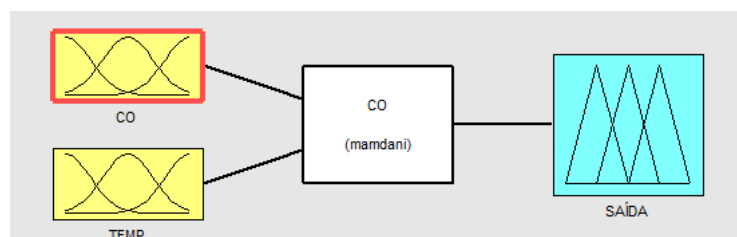
Tabela 8: Classificações e intervalos da variável de saída para o modelo unipolvente (PM_{2,5} e TEMP).

Intervalo (número de internações)	Classificação
[0; 1,8]	Baixo
[0,92; 5,5]	médio
[3,67; 11]	alto

Modelo 2: Unipolvente CO e TEMP

As variáveis de entrada para o modelo 2 foram: monóxido de carbono (CO) e temperatura (TEMP). O universo de discurso para cada variável de entrada foi selecionado da planilha (Figura 11), ou seja, foram selecionadas as concentrações mínima e máxima do poluente CO, bem como da temperatura. O modelo foi implementado no *toolbox fuzzy do Matlab 7.1* e utilizou-se o método de inferência proposto por Mamdani. A Figura 18 apresenta a janela principal do sistema *fuzzy* com as variáveis de entrada e saída do sistema.

Figura 18: *Fis Editor* para o modelo unipolvente (CO e TEMP).



A Tabela 9 apresenta a classificação das variáveis de entrada obtidas através da base de dados.

Tabela 9: Dados de entrada (CO e TEMP) e suas variações.

Variável de entrada	Variação
CO (ppb)	70 – 390
TEMP (°C)	10 – 32

Para classificar as variáveis de entrada foi realizada análise na base de dados estimados, para determinar o intervalo em que os índices de concentração dessas variáveis são baixo, médio ou alto, de acordo com o quanto prejudicial à saúde é o elemento em questão (Tabela 10).

Tabela 10: Classificação quanto ao nível de monóxido de carbono e temperatura.

CO (ppb)		TEMP (°C)	
Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
[70; 140]	Baixo	[10; 17]	Baixo
[140; 251]	Médio	[17; 21]	Médio
[251; 390]	Alto	[21; 32]	Alto

Nas figuras 19 e 20 pode-se observar as funções de pertinência de entrada para o CO e TEMP. Novamente, optou-se por funções de pertinência do tipo trapezoidal.

Figura 19: Função de pertinência para a variável entrada CO.

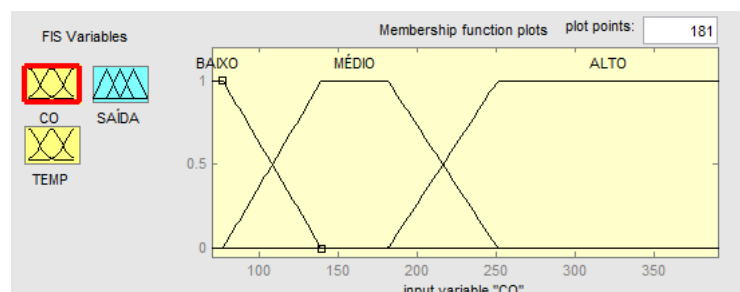
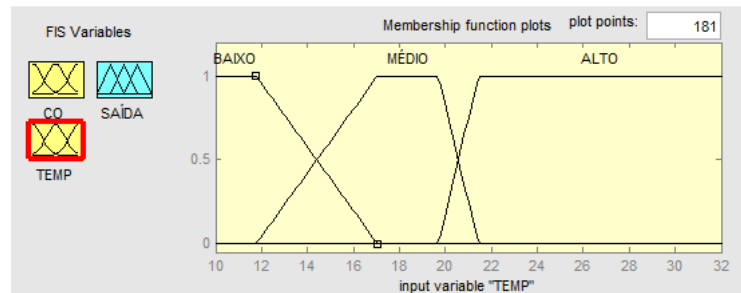
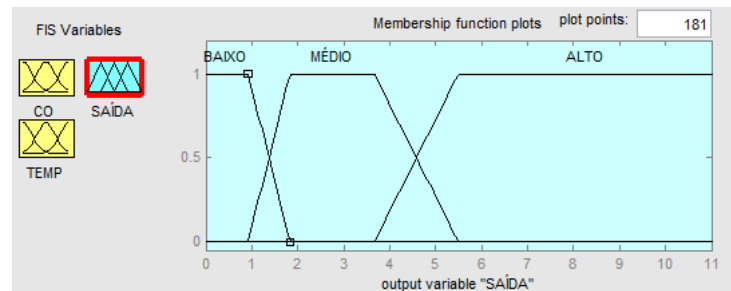


Figura 20: Função de pertinência para a variável entrada TEMP.



Na Figura 21 está representada a função de pertinência para a variável de saída, que representa o número de internações.

Figura 21: Função de pertinência para a variável de saída (número de internações).



A variável de saída representa o número de internações de pacientes com doenças respiratórias, cuja variação é de zero a 11 internações (Tabela 11).

Tabela 11: Classificações e intervalos da variável de saída para o modelo unipolvente (CO e TEMP).

Intervalo (número de internações)	Classificação
[0; 2,17]	Baixo
[1,08; 6,5]	Médio
[4,33; 11]	Alto

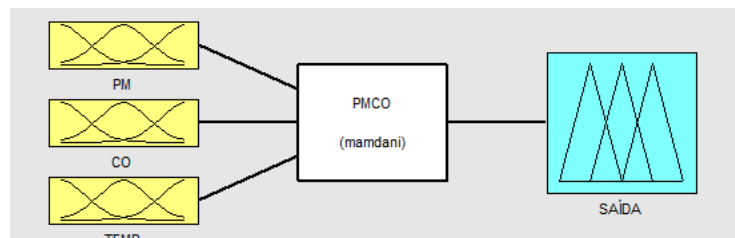
Modelo 3: Multipolvente

As variáveis de entrada para o modelo 3 foram: material particulado fino ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO), temperatura (TEMP). O universo de discurso para cada variável

de entrada foi selecionado da planilha (Figura 11), ou seja, foram selecionadas as concentrações mínima e máxima dos poluentes PM e CO, bem como da temperatura.

O modelo foi desenvolvido usando o método de inferência proposta por Mamdani, utilizando o *software* computacional do *toolbox fuzzy* Matlab 7.1. A Figura 25 apresenta a janela principal do sistema *fuzzy* com as variáveis de entrada e saída do sistema.

Figura 22: *Fis Editor* para o modelo multipolvente.



Na Tabela 12, será apresentada a classificação das variáveis de entrada obtidas por meio da base de dados.

Tabela 12: Dados de entrada e suas variações.

Variável de entrada	Variação
PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10 – 36
CO (ppb)	70 – 390
TEMP ($^{\circ}\text{C}$)	10 – 32

Para classificar as variáveis de entrada foi realizada análise na base de dados reais, para determinar o intervalo em que os índices de concentração dessas variáveis são baixo, médio ou alto, de acordo com o quanto prejudicial à saúde é o elemento em questão (Tabela 13).

Tabela 13: Classificação quanto ao nível de material particulado fino, monóxido de carbono e temperatura.

PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		CO (ppb)		TEMP ($^{\circ}\text{C}$)	
Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
[10; 15]	baixo	[70; 140]	baixo	[10; 18]	baixo
[12; 21]	médio	[77; 251]	médio	[12; 23]	médio
[18; 36]	alto	[181; 390]	alto	[21; 32]	alto

Nas Figuras 23, 24 e 25 pode-se observar as funções de pertinência das variáveis de entrada para PM, CO e TEMP respectivamente.

Figura 23: Função de pertinência para a variável entrada PM_{2,5}.

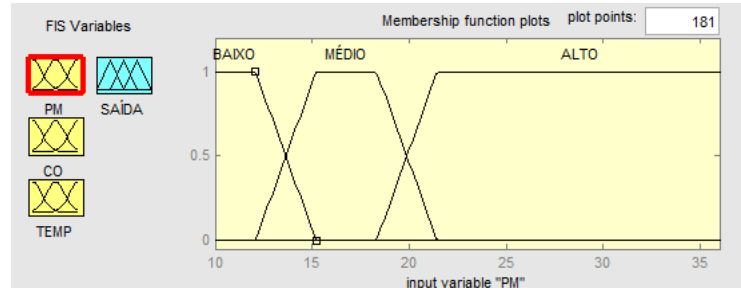


Figura 24: Função de pertinência para a variável entrada CO.

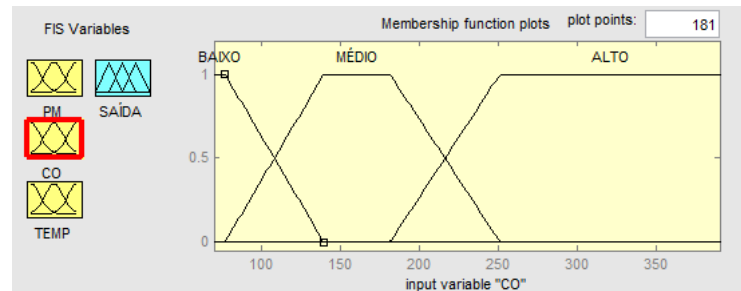
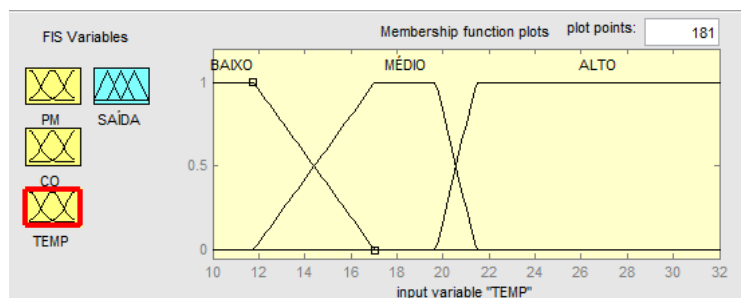
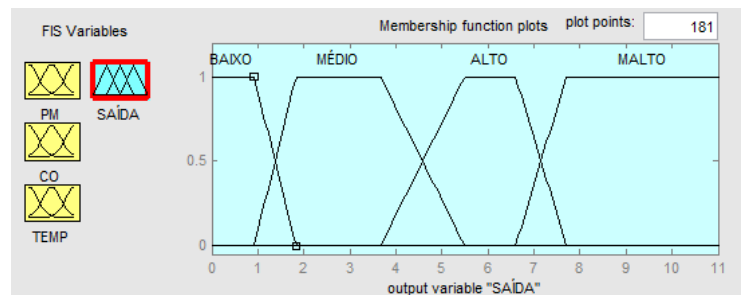


Figura 25: Função de pertinência para a variável entrada TEMP.



Na Figura 26 pode-se observar a função de pertinência da saída, que possui as variáveis linguísticas baixo, médio, alto e muito alto e é composta por funções de pertinência do tipo trapezoidal.

Figura 26: Função de pertinência para a variável de saída (número de internações) para o modelo multipoluentes.



A variável de saída representa o número de internações de pacientes com doenças respiratórias, cuja variação é de zero a 11 pacientes (Tabela 14).

Tabela 14: Classificações e intervalos da variável de saída.

Intervalo (número de internações)	Classificação
[0; 1,8]	baixo
[0,9; 5,5]	médio
[3,7; 7,7]	alto
[6,6;11]	muito alto

As regras elaboradas para os modelos 1, 2 e 3 são apresentadas na Seção Resultados.

3.2.3.OBTENÇÃO DOS VALORES

O Matlab possui uma rotina (*ddeinit*) que permite gerar uma saída numérica para o modelo *fuzzy* elaborado. Com esta rotina é possível comparar os valores obtidos do banco de dados real de internações com os resultados obtidos do modelo. Essa rotina é desenvolvida de acordo dos seguintes passos:

- `myvariable = ddeinit ('excel','D:\o Dissertação Setembro.xlsx:Plan1');`

Este comando estabelece uma conexão do Matlab com a planilha do Excel onde estão os dados.

- `mymatrix = ddereq(myvariable,'l2c2:l365c4');`

Este comando traz uma lista de dados do Excel para o Matlab no formato de uma matriz, que é utilizada como *input* do sistema *fuzzy*.

- `fismat = readfis('PMCO');`

Este comando lê automaticamente a matriz do excel e o modelo *fuzzy*, onde *PMCO* é o nome do sistema *fuzzy* criado.

- `output = evalfis(mymatrix,fismat);`

Este comando gera uma matriz de resultados de saída do modelo *fuzzy* chamada *output*, onde *mymatrix* é o nome da matriz gerada pelo comando *ddereq*.

Desta forma, é possível avaliar o Sistema de Inferência *Fuzzy* Mamdani implementado, realizando a correlação entre os dados obtidos do banco de dados real e os dados obtidos do modelo *fuzzy*. Quanto maior a correlação, melhor a acurácia do modelo *fuzzy* elaborado.

Em seguida, foram feitas as curvas ROC para os *lag* 1, *lag* 2 e *lag* 3. Estes lags são as defasagens de 1, 2 e 3 dias, que são apresentados no próximo capítulo.

3.2.4 CURVA ROC

A curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) ilustra a performance de um sistema através de uma representação gráfica de pares “x” e “y” (que correspondem, a (1-especificidade) e a sensibilidade, respectivamente) para diferentes valores de corte. Foi desenvolvida por engenheiros eletricitas e engenheiros de radar durante a Segunda Guerra Mundial (Zweig e Campbell, 1993), com o objetivo de quantificar a habilidade dos operadores dos radares em diferenciar um sinal (como um avião) de um ruído (como pássaros).

A sensibilidade é definida como a probabilidade de o teste sob investigação fornecer um resultado positivo (positivos verdadeiros) e a especificidade é definida como a probabilidade de o teste fornecer um resultado negativo (positivos falsos). O desempenho de um teste é medido através da área sob a curva ROC, onde quanto maior é a área sob a curva melhor é a performance do sistema (Martinez, Neto e Pereira, 2003).

Para esse estudo o valor de corte foi de até duas interações, onde a sensibilidade do modelo mostra que não haverá até duas interações e os dados reais afirmam que não ocorreram até duas interações, já para a especificidade o modelo afirma que irá ocorrer até duas interações e é confirmado pelos dados reais que ocorreram até duas interações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho que utilizou a lógica *fuzzy* obteve um modelo preditivo, para interações por doenças respiratórias decorrentes da exposição ao PM_{2,5} e CO, que apresentou boa acurácia para exposições de um até três dias de defasagem.

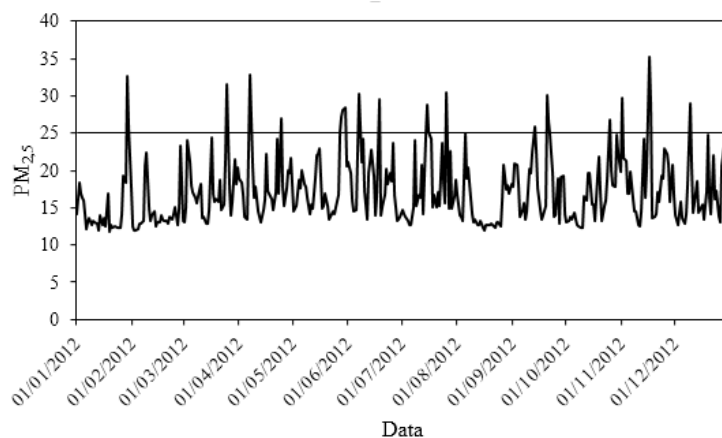
No período de tempo considerado ocorreram 752 interações por doenças respiratórias em indivíduos residentes em Volta Redonda, RJ. A análise descritiva desse estudo encontra-se na Tabela 15, onde mostra os valores médios das concentrações dos poluentes estudados os desvios padrão os valores de mínimo e os valores de máximo para PM_{2,5}, CO, TEMP e interações.

Tabela 15 – Valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos das variáveis: PM_{2,5}, CO, TEMP e INTER, Volta Redonda, RJ – 2012.

	Média	dp	Mínimo	Máximo
PM _{2,5} (µg/m ³)	17,1	4,4	11,7	35,2
CO (ppb)	162,7	63,6	73,6	386,1
TEMP (°C)	21,3	3,0	12,6	28,3
INTER	3,6	2,3	0	11

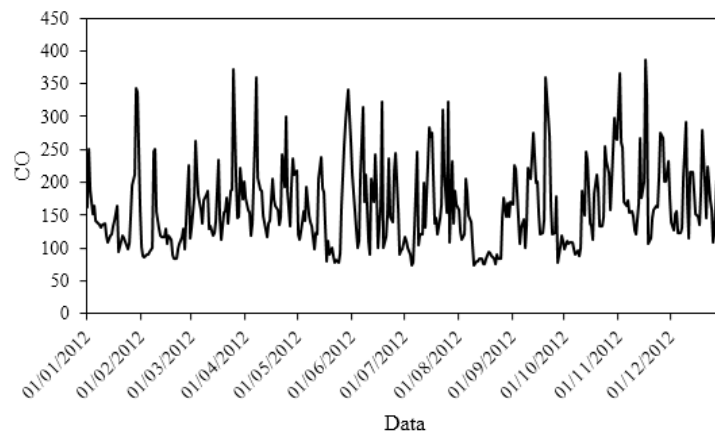
Nas Figuras 27, 28, 29 e 30 são mostradas as séries temporais das concentrações de PM_{2,5}, CO, temperatura e interações durante o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.

Figura 27: Distribuição diária das concentrações de PM_{2,5} (µg/m³) para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.



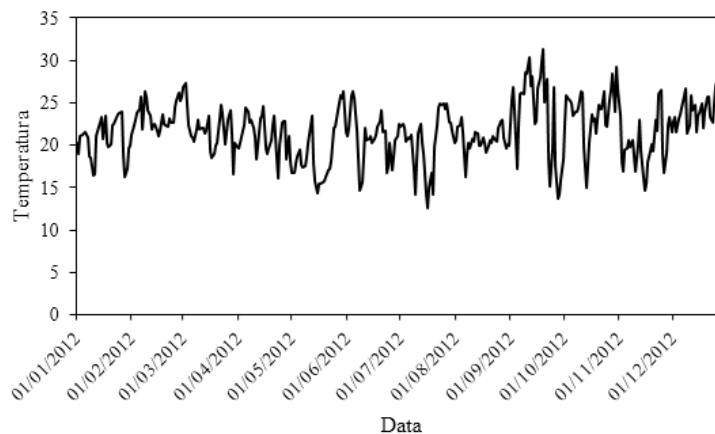
Nota-se, na Figura 27, segundo os critérios estabelecidos pela CETESB, a qualidade do ar ultrapassou, em 22 dias, o valor considerado aceitável (sugerido pela OMS). No restante dos dias a qualidade do ar foi boa, porém, isso significa que em 6% do ano, o poluente $PM_{2,5}$ está acima de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 28: Distribuição diária das concentrações de CO (ppb) para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.



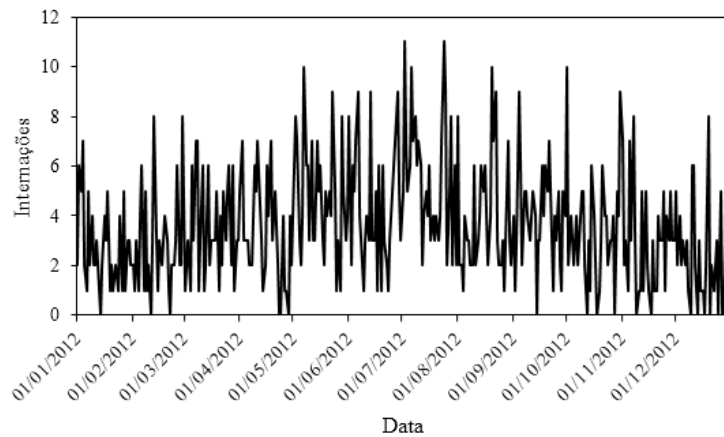
Na Figura 28, a qualidade do ar é classificada como boa, não houve ultrapassagens consideradas acima do limite estabelecido pela CETESB (9000 ppb) para o CO.

Figura 29: Distribuição diária da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.



Na Figura 29 observa-se que a temperatura variou por volta de 13 a 31°C , sendo que a temperatura máxima ocorreu no mês de setembro e a temperatura mínima ocorreu no mês de julho.

Figura 30: Distribuição diária do número de internações para o ano de 2012 em Volta Redonda – RJ.



A Figura 30 mostra que, no mês de julho, houve um número maior de internações e os meses com o menor número de internações foram janeiro e dezembro, sugerindo uma distribuição sazonal.

Considerando que os valores do $PM_{2,5}$ corresponde a cerca de 60% de PM_{10} (CETESB, 2014), o valor médio deste poluente seria em torno de $28,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para a cidade de Volta Redonda. Esse valor médio de $28,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ é inferior ao encontrado em Sorocaba – SP por Negrisoni e Nascimento (2013), que foi de $34,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} . Possivelmente, esse valor elevado se deve a um número maior de veículos e indústrias, pois esta cidade é cortada por duas importantes rodovias, Castelo Branco e a Raposo Tavares, que possuem grande fluxo de veículos.

Cesar, Nascimento e Carvalho (2013) encontram uma média de $28,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2,5}$ em Piracicaba – SP, um valor superior ao encontrado em Volta Redonda. Esse valor se deve possivelmente à frota veicular e a queima da palha da cana, pois é um dos principais produtores de açúcar e álcool do mundo. Estimaram, em seu trabalho, associação entre exposição ao $PM_{2,5}$ e internações por doenças respiratórias em crianças de zero a dez anos de idade, residentes em Piracicaba, SP. O incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$ implicou aumento no risco relativo entre 7,9 e 8,6 pontos percentuais, concluindo que a exposição a este poluente esteve associada às internações por doenças respiratórias em crianças, um e três dias após a exposição, o que coincide com os achados desse trabalho para o *lag* 1, onde foi obtida a melhor acurácia e será apresentado no decorrer dos resultados.

No estudo de Gouveia *et al.* (2006), feito na cidade de São Paulo – SP, foi encontrado um valor médio de 3240 ppb para CO, valor mais elevado quando comparado ao encontrado nesse estudo, 162,7 ppb, pois São Paulo é uma metrópole com maior frota veicular e com muitas

industrias.

Mesmo não havendo normas nacionais estabelecidas, houve segundo padrão da OMS, 22 ultrapassagens do limite de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o $\text{PM}_{2,5}$ e para o CO não houve ultrapassagem do limite de 9000 ppb. As internações mostraram uma grande amplitude, o que explica o desvio padrão.

De acordo com a estrutura do índice de qualidade do ar divulgado pela CETESB (2014), a média diária de $\text{PM}_{2,5}$ é classificada como aceitável, mas com ultrapassagens em 22 oportunidades, tornando a classificação moderada.

A importância de discutir o $\text{PM}_{2,5}$ foi mostrada em alguns trabalhos como o de Andrade Filho *et al.* (2013) que analisaram a associação entre a exposição ao material particulado fino emitido em queimadas e as internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças. O estudo foi realizado em Manaus – AM. Nos meses de agosto a novembro (período seco) apresentaram os maiores níveis médios de $\text{PM}_{2,5}$ (de 18 a $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e os maiores números de focos de queimadas detectados. A média do $\text{PM}_{2,5}$ para a estação chuvosa foi de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 66% menor que a média da estação seca, $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As maiores taxas de internações ocorreram durante a estação chuvosa, e o mês de abril teve a maior taxa, com 2,51/1.000 crianças. Foi observada associação positiva significativa entre as internações e a umidade relativa ($R = 0,126$; $p = 0,005$), enquanto a associação entre internações com $\text{PM}_{2,5}$ mostrou-se negativa e estatisticamente significativa ($R = - 0,168$; $p = 0,003$). Sendo que esses autores utilizaram regressão linear.

Nascimento *et al.* (2006) estudaram os efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. Na estimativa de efeito acumulado de oito dias, observou-se, ao longo desse período, que para aumentos de $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração média de PM_{10} houve um acréscimo de 9,8% nas internações. O desfecho aqui foi o risco de internações e não o número de internações, como é estudado nessa dissertação. É importante observar que o PM_{10} é constituído entre 60 e 70% de $\text{PM}_{2,5}$.

Gouveia *et al.* (2006) analisaram a associação entre exposição à poluição atmosférica e internações hospitalares no município de São Paulo em crianças e idosos. Um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no nível de material particulado inalável associa-se ao incremento de 4,6% nas internações por asma em crianças, de 4,3% por doença pulmonar obstrutiva crônica em idosos e de 1,5% por doença isquêmica do coração também em idosos, mostrando que o aumento do nível dos poluentes tem associação com o aumento de internações. Nesse caso foi estudado o risco de internações e não número de internações.

A média diária de CO foi classificada como boa, mas não significa que não haja risco à saúde, e podendo potencializar os riscos da exposição ao material particulado em relação a saúde. É interessante salientar que o limite para as concentrações diárias de CO é de 35000 ppb.

Um estudo realizado por Fonseca e Vasconcelos (2011) mostrou que quanto maior a concentração de poluentes (CO), maior o risco de aumento de casos de doenças respiratórias agudas em população de um a quatro anos de idade, mostrando que a emissão na atmosfera de um gás altamente tóxico, como o monóxido de carbono, interfere diretamente na saúde humana, provocando um aumento no número das doenças respiratórias.

Rumel *et al.* (1993) estudaram possível a associação existente entre os valores de temperaturas máximas diárias e valores médio e máximo diários de monóxido de carbono, acidente vascular cerebral (AVC) e infarto do miocárdio (IM) no município de São Paulo. O poluente mais associado com AVC e IM é o monóxido de carbono (CO), cujas fontes principais são a fumaça de cigarro e a de veículos a motor. Das internações anuais por IM, 2,1% são devidos à poluição atmosférica e 4,9% a altas temperaturas. Das internações anuais por AVC, 2,8% são devidas a altas temperaturas. Não foi identificada associação entre monóxido de carbono e AVC.

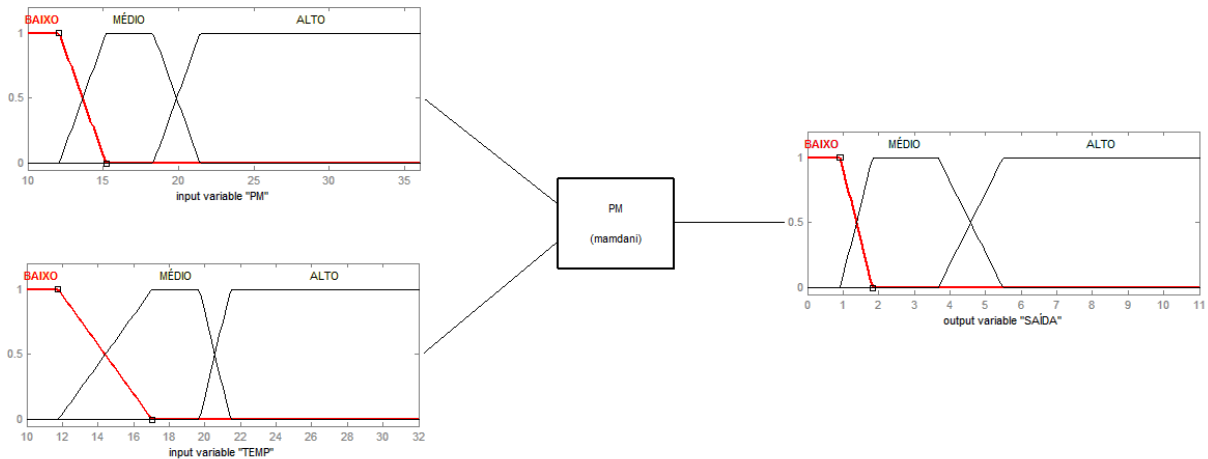
No estudo aqui apresentado, abordagem *fuzzy*, estimou os números de internações associado com o PM_{2,5} e CO relacionados com a temperatura.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para cada modelo.

Modelo 1: Unipolvente PM_{2,5} e TEMP

A Figura 31 apresenta a estrutura gerada pelo modelo *fuzzy*, que foi desenvolvida utilizando três funções de pertinência para cada uma das entradas: material particulado fino (PM_{2,5}), temperatura (TEMP) e três funções de pertinência para a saída (número de internações).

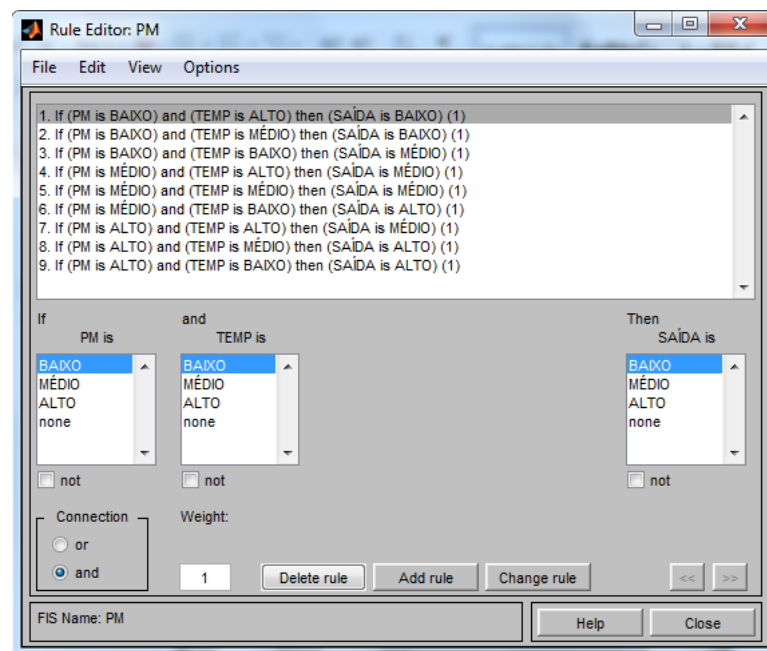
Figura 31: Estrutura do modelo *fuzzy* para entradas $PM_{2,5}$ e TEMP.



A Figura 32 apresenta a base de regras editada no *toolbox fuzzy* do Matlab. Foram obtidas 9 regras (3^2 – duas entradas com três funções de pertinência para cada uma), estas regras foram elaboradas com o auxílio de um especialista.

A base de regras é que define como serão as saídas do sistema de inferência *fuzzy*, no processo de elaboração deste modelo a base de regras e as funções de pertinência foram alteradas tantas vezes até obter o resultado apresentado a seguir:

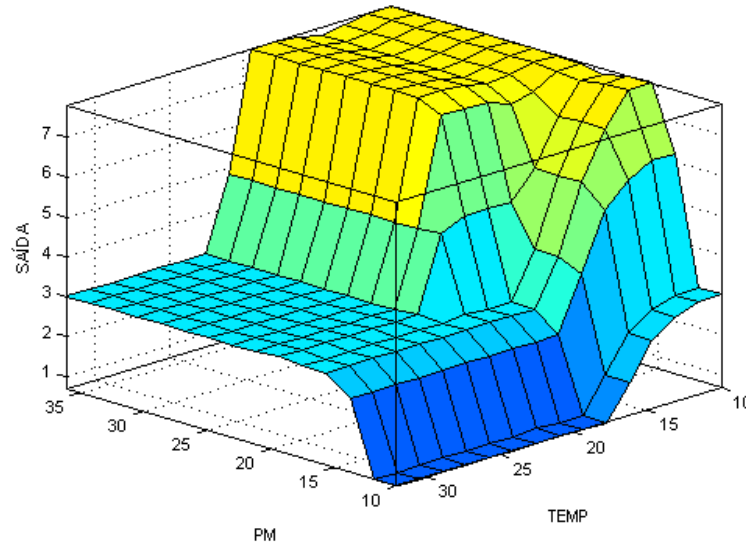
Figura 32: Regras *fuzzy* editadas no programa Matlab para o modelo unipolvente ($PM_{2,5}$ e TEMP).



Após a elaboração do sistema inferência *fuzzy* foi possível obter a superfície (Figura 33) do modelo *fuzzy* para as entradas PM e TEMP e a SAÍDA (número de interações). Pode-se

observar que quanto mais alta é a concentração do $PM_{2,5}$ e mais baixa é a temperatura, maior é o número de interações. E quanto mais baixa é a concentração do $PM_{2,5}$ e mais alta a temperatura o número de interações é menor.

Figura 33: Superfície do modelo *fuzzy*, para as entradas $PM_{2,5}$ e TEMP, Volta Redonda, 2012.



Os valores obtidos para a curva ROC segundo as defasagens de um até três dias, com os respectivos intervalos de confiança de 95% são apresentados na Tabela 16; a curva ROC para os dados reais e seus resultados se encontram na mesma tabela.

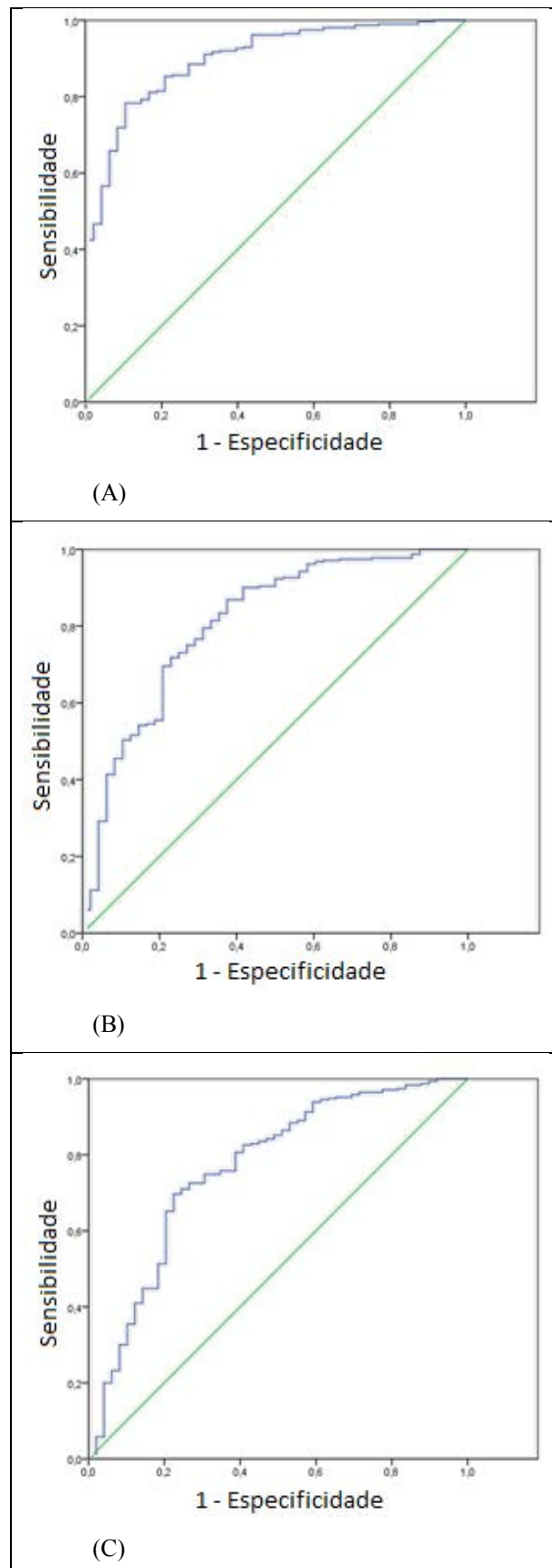
Os dados apresentados mostram que o modelo elaborado apresenta uma boa acurácia para prever o número de interações para o poluente $PM_{2,5}$, utilizando um corte de até duas interações. Pode ser evidenciado que a melhor acurácia para o poluente $PM_{2,5}$ foi no *lag* 1, e este valor corresponde a uma sensibilidade em torno de 81% para $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 16: Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para o modelo $PM_{2,5}$ e TEMP, Volta Redonda, 2012.

<i>Lags</i>	Área (IC 95%) – $PM_{2,5}$	
	Modelo 1	Dados reais
1	90,0 (85,8 – 94,2)	58,1 (51,9 – 64,3)
2	80,8 (73,8 – 87,9)	58,2 (52,0 – 64,4)
3	76,5 (68,7 – 84,3)	51,7 (45,3 – 58,2)

As Figuras 34(A, B e C) correspondem as curvas ROC para o $PM_{2,5}$ correspondendo aos *lags* 1, 2 e 3.

Figura 34: (A, B, C): Curvas ROC construídas com dados obtidos do modelo para o $PM_{2,5}$, lag 1, lag 2 e lag 3 respectivamente, Volta Redonda, 2012.



Na Figura 34-A, a curva ROC mostra um ponto de inflexão que corresponde a aproximados 82% de sensibilidade e 81% de especificidade; essa informação significa que em 82% dos casos o modelo prevê que “não haverá até duas interações” e realmente estas não ocorreram, e que em 81% dos casos o modelo prevê ocorrência de “até duas interações” e realmente estas ocorreram; no caso da Figura 34-B o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 77% de sensibilidade e 69% de especificidade; e na Figura 34-C o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 73% de sensibilidade e 73% de especificidade.

O modelo também pode ser avaliado por meio da ferramenta *rule viewer* do *toolbox fuzzy do Matlab* (Figura 35 e 36). Esta ferramenta possibilita obter o resultado estimado pelo modelo *fuzzy*, digitando-se individualmente cada valor de entrada. A vantagem desta ferramenta é a possibilidade de visualizar a base de regras, as funções de pertinências de entrada e saída ativadas. Por outro lado, é necessário refazer o procedimento para cada dia de entrada. Neste trabalho foram analisados 365 dias, seria necessário repetir este procedimento várias vezes. Para analisar todos os casos foi utilizada a rotina *ddeinit*, apresentada no capítulo anterior.

O modelo permite prever, por exemplo, 2,67 interações para 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ e 21°C de TEMP, exemplo 1, (Figura 35); para os mesmos valores, reais, o número de interações foi de 3. Para o caso de 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ e 21°C de TEMP, exemplo 2, o modelo apresentou 4,85 interações e os dados reais o número de interações foi de 5 (Figura 36).

Figura 35: *Rule viewer* para o modelo $\text{PM}_{2,5}$ e TEMP (exemplo 1).

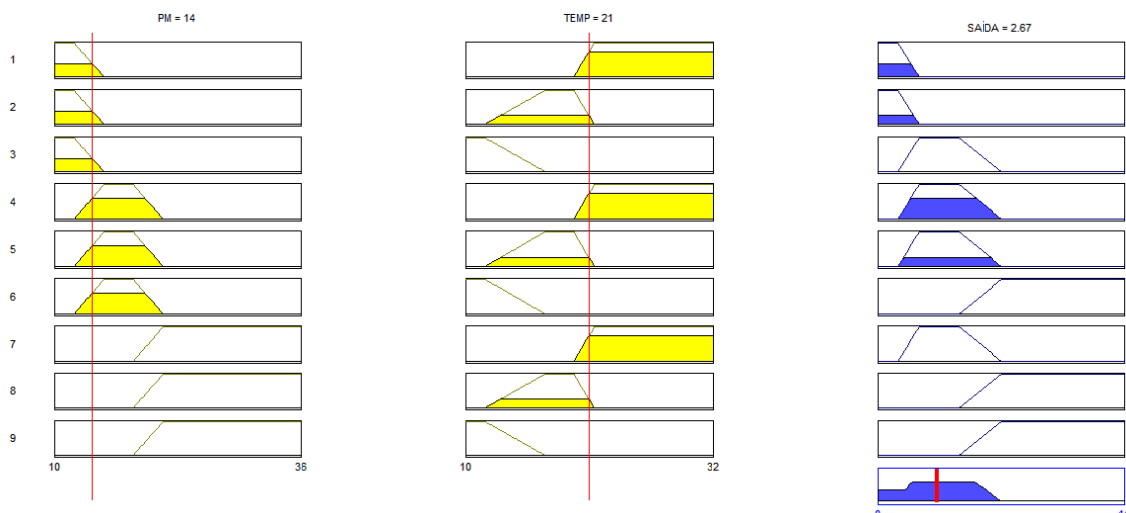
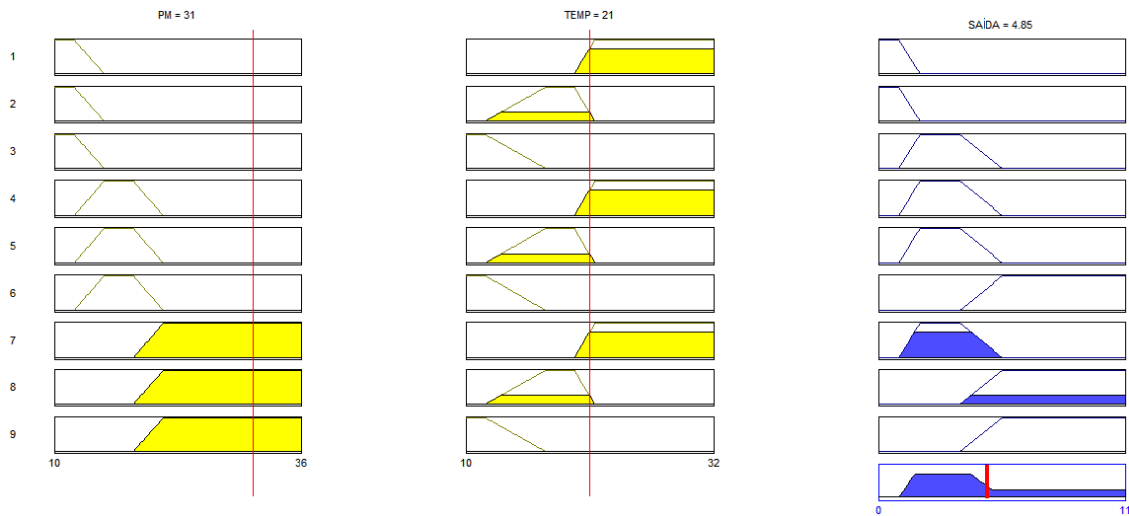


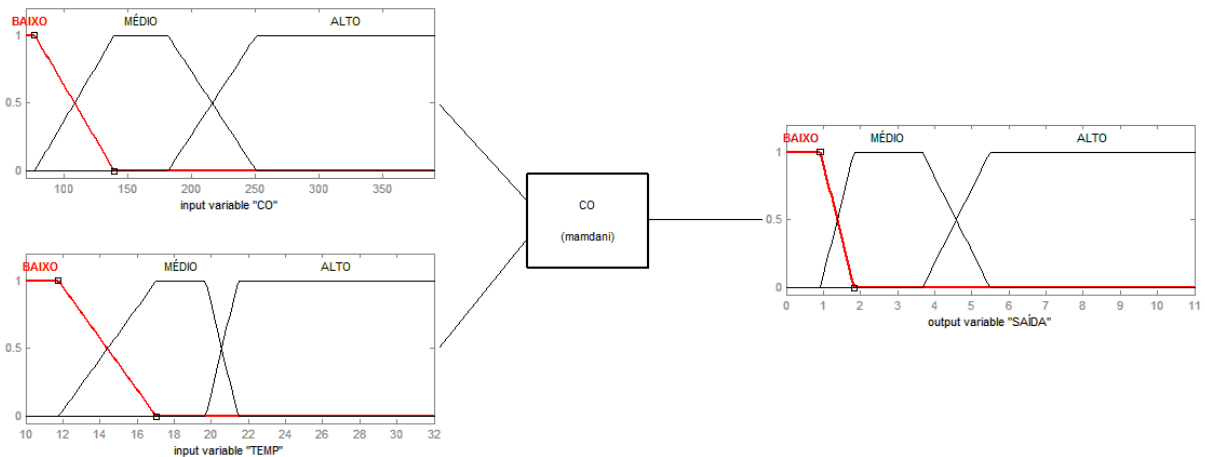
Figura 36: *Rule viewer* para o modelo PM_{2,5} e TEMP (exemplo 2).



Modelo 2: Unipolvente CO e TEMP

A Figura 37 apresenta a estrutura gerada pelo modelo *fuzzy*, que foi desenvolvida utilizando três funções de pertinência para cada uma das entradas, monóxido de carbono (CO), temperatura (TEMP) e três funções de pertinência para a saída (número de internações).

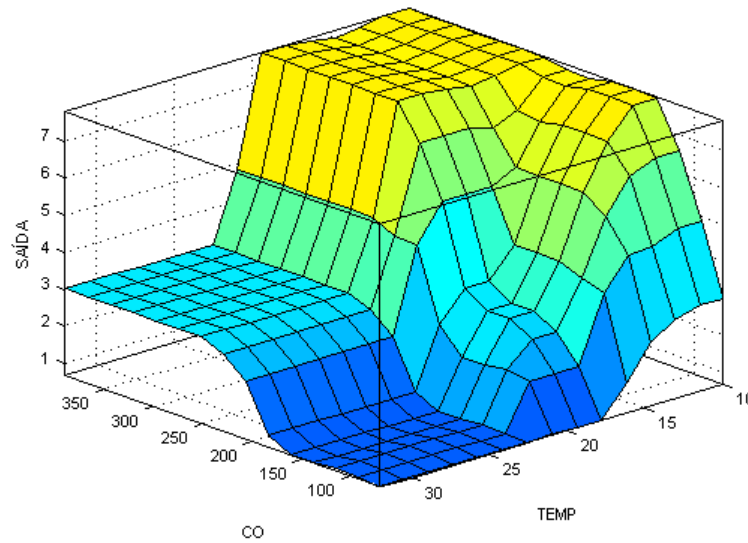
Figura 37: Estrutura do modelo *fuzzy* para entradas CO e TEMP.



A base de regras foi a mesma utilizada para o modelo 1 (Figura 32), mas com a entrada CO no lugar da entrada PM_{2,5}.

Após elaboradas as regras é gerada a superfície (Figura 38) do modelo *fuzzy*. Nota-se que quanto menor é a concentração do CO e mais alta é a temperatura, menor é o número de internações; quanto mais alta é a concentração do CO e mais baixa a temperatura, o número de internações é maior.

Figura 38: Superfície do modelo *fuzzy*, para as entradas CO e TEMP.



Os valores obtidos para a curva ROC segundo defasagens de um até três dias, com os respectivos intervalos de confiança de 95%, estão na Tabela 17; a curva ROC para os dados reais e seus resultados se encontram na mesma tabela.

Pode ser evidenciado que a melhor acurácia é no *lag* 1 e este valor corresponde a uma sensibilidade em torno de 92% para 99 ppb de CO.

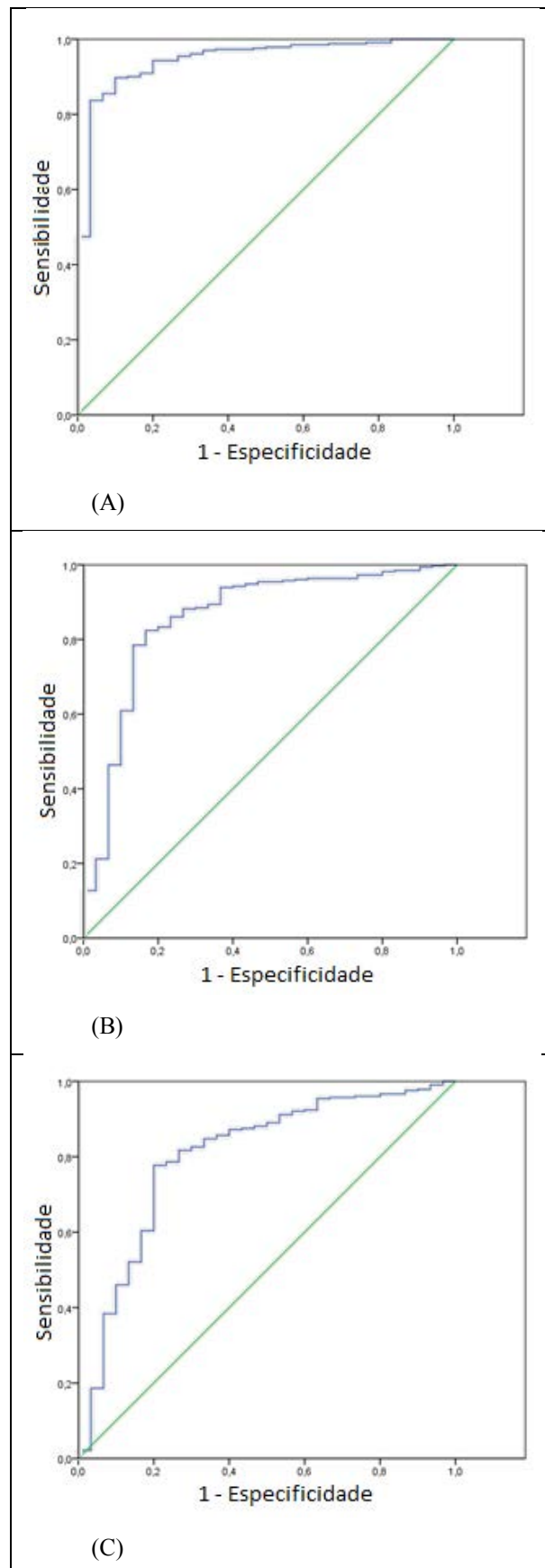
Tabela 17: Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para o modelo CO e TEMP, Volta Redonda, 2012.

<i>Lags</i>	Área (IC 95%) – CO	
	Modelo 2	Dados reais
1	94,7 (90,9 – 98,4)	52,6 (46,4 – 58,7)
2	85,9 (77,9 – 93,9)	54,1 (48,0 – 60,3)
3	80,1 (71,1 – 89,1)	46,8 (40,5 – 53,1)

Os dados apresentados mostram que o modelo apresenta uma boa acurácia para prever duas ou mais interações para o CO.

As Figuras 39 (A, B e C) correspondem as curvas ROC para o CO correspondendo aos *lags* 1, 2 e 3.

Figura 39: (A, B, C): Curvas ROC construídas com dados reais, para o CO, *lag 1*, *lag 2* e *lag 3* respectivamente, Volta Redonda, 2012.



A Figura 39-A mostra um ponto de inflexão que corresponde a aproximados 92% de sensibilidade e 90% de especificidade; no caso da Figura 39-B o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 85% de sensibilidade e 83% de especificidade; e na Figura 39-C o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 81% de sensibilidade e 73% de especificidade.

O modelo também pode ser avaliado por meio da ferramenta *rule viewer* do *toolbox fuzzy* do Matlab como no primeiro modelo, podendo variar as entradas, e em seguida, observar o sistema, reajustar e calcular a nova saída (Figuras 40 e 41).

Figura 40: *Rule viewer* para o modelo CO e TEMP (exemplo 1).

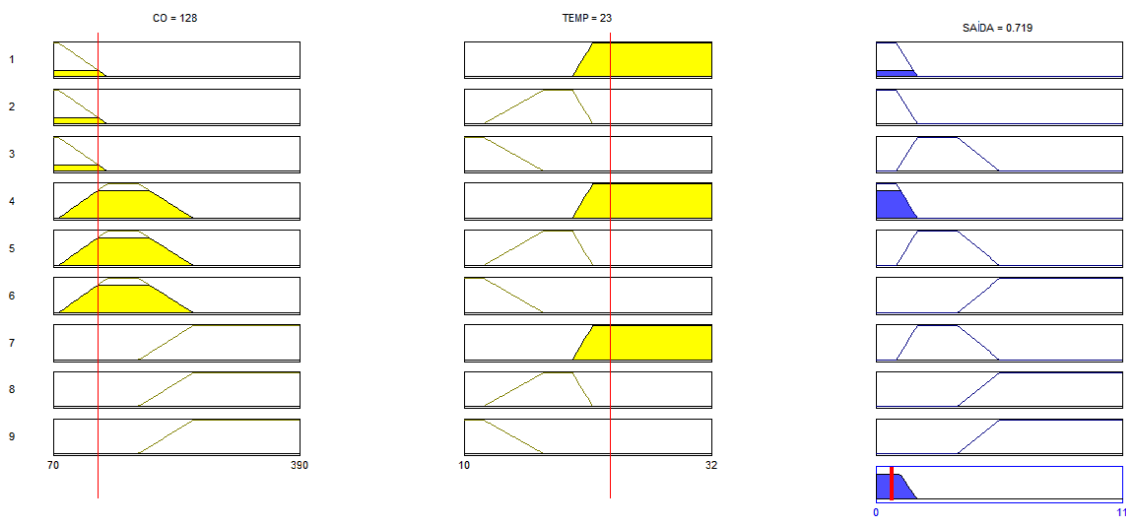
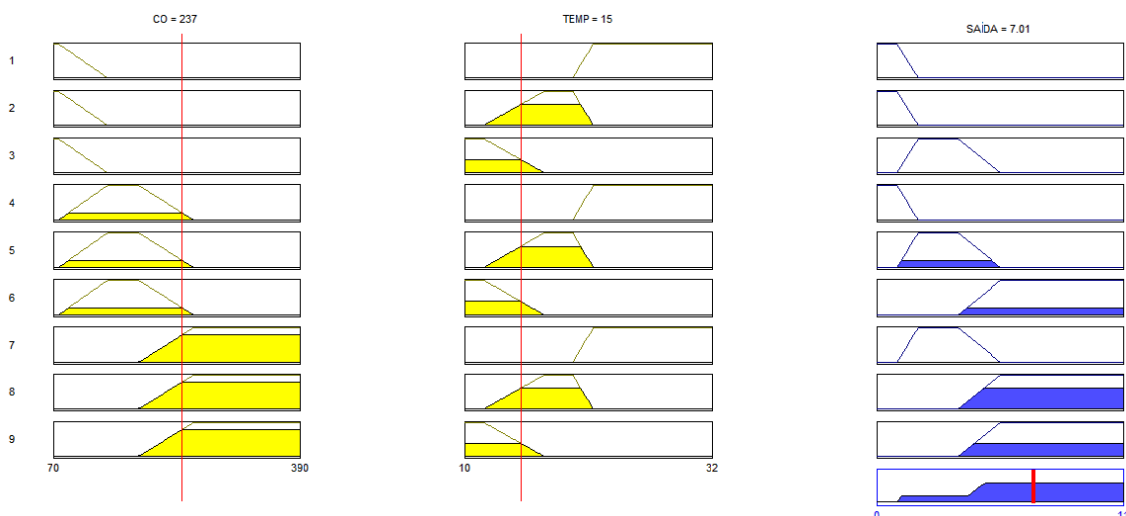


Figura 41: *Rule viewer* para o modelo CO e TEMP (exemplo 2).



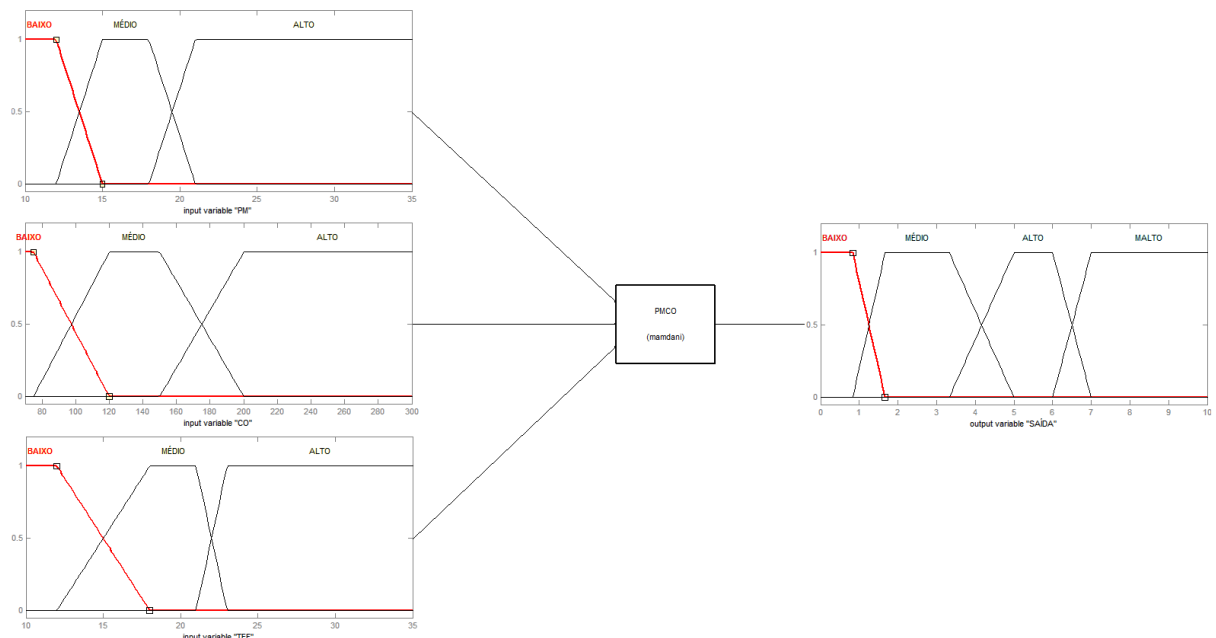
O modelo permite prever, por exemplo, 0,72 internações para 128 ppb de CO e 23°C de TEMP, exemplo 1, (Figura 40), para os mesmos valores, reais, o número de internações foi de 0; para o caso de 237 ppb de CO e 15°C de TEMP, exemplo 2, o modelo apresentou 7,01

internações e os dados reais o número de internações foi de 7 (Figura 41), mostrando uma boa resposta do modelo.

Modelo 3: Multipolvente

A seguir é apresentada a estrutura gerada pelo modelo *fuzzy* (Figura 42), desenvolvida utilizando três funções de pertinência para cada uma das entradas: material particulado fino ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO) e temperatura (TEMP) e quatro funções de pertinência para a saída número de internações.

Figura 42 – Estrutura do modelo *fuzzy*.



A Tabela 18 apresenta a base de regras editada no *toolbox fuzzy* do Matlab. São apresentadas as 27 regras (3^3 – três entradas com três funções de pertinência cada uma). A saída é composta por quatro funções de pertinência do tipo trapezoidal: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto (Malto). A base de regras foi elaborada com auxílio de um especialista, e também foi atribuído peso para cada uma das regras. A regra com maior peso tem maior importância.

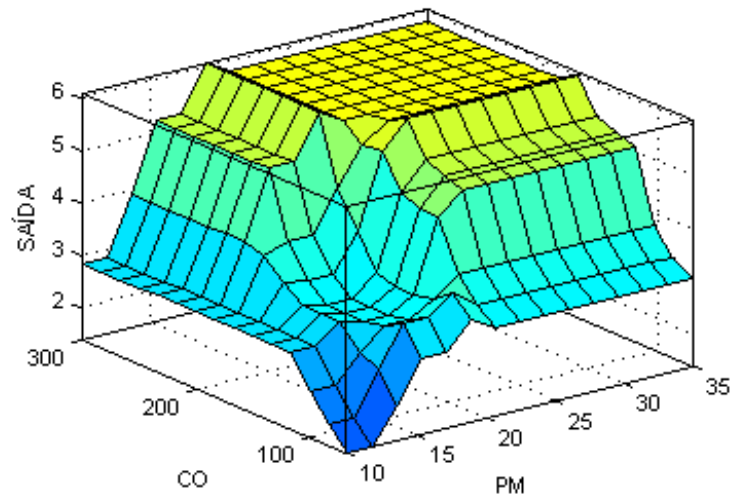
Tabela 18: Regras geradas por especialista para o modelo *fuzzy* multipoluentes.

REGRAS	PM _{2,5}	CO	TEMP	SAÍDA	PESO
1	BAIXO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1
2	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,5
3	BAIXO	BAIXO	ALTO	BAIXO	1
4	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,5
5	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1
6	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,5
7	BAIXO	ALTO	BAIXO	ALTO	0,8
8	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	1
9	BAIXO	ALTO	ALTO	MÉDIO	0,5
10	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	ALTO	0,5
11	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	1
12	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,5
13	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	ALTO	1
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	0,5
15	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	1
16	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MALTO	0,5
17	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	ALTO	1
18	MÉDIO	ALTO	ALTO	ALTO	0,5
19	ALTO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1
20	ALTO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,5
21	ALTO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	1
22	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MALTO	0,5
23	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	1
24	ALTO	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,5
25	ALTO	ALTO	BAIXO	MALTO	1
26	ALTO	ALTO	MÉDIO	MALTO	0,5
27	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	1

Após elaboradas as regras é possível gerar a superfície (Figura 43) do modelo multipolvente. Nota-se que quanto menor é a concentração do CO e PM_{2,5}, menor é o número de interações, e quanto mais alta é a concentração do CO e PM_{2,5} o número de interações é

maior. Essa previsão vai ao encontro dos achados de Gouveia *et al.* (2006) e Cesar, Nascimento e Carvalho (2013) que identificaram associação a estes poluentes e as internações por doenças respiratórias.

Figura 43: Superfície do modelo multipoluentes.



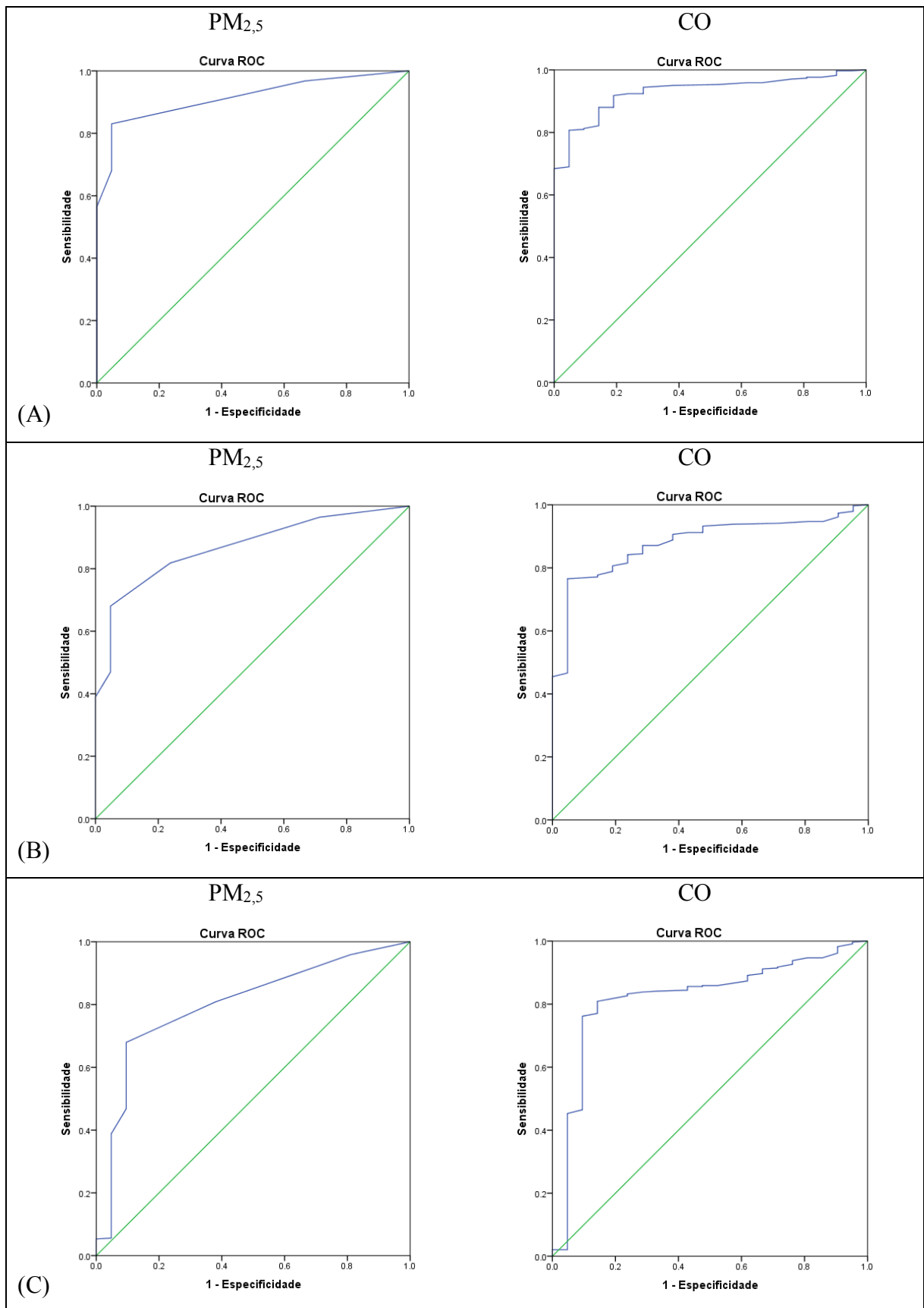
A curva ROC para o modelo multipolvente é feita analisando um poluente por vez. Assim, a Tabela 19 apresenta os valores obtidos para a curva ROC segundo defasagens de um até três dias, com os respectivos intervalos de confiança de 95% para os poluentes PM e CO.

Tabela 19: Áreas sob a curva ROC em porcentagem e respectivos intervalos de confiança de 95% para os dados do modelo multipolvente.

<i>Lags</i>	Área (IC 95%)	
	PM _{2,5}	CO
<i>lag 1</i>	91,4 (87,3 – 95,5)	92,9 (89,3 – 96,6)
<i>lag 2</i>	86,8 (80,8 – 92,9)	87,9 (82,4 – 93,4)
<i>lag 3</i>	80,1 (70,7 – 89,5)	82,1 (72,8 – 91,5)

A Figura 44-A mostra um ponto de inflexão que corresponde a aproximados 85% de sensibilidade e 82% de especificidade para PM_{2,5} e 88% de sensibilidade e 85% de especificidade para CO; no caso da Figura 44-B o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 80% de sensibilidade e 80% de especificidade para PM_{2,5} e 82% de sensibilidade e 78% de especificidade para CO; e na Figura 44-C o ponto de inflexão corresponde aproximadamente a 78% de sensibilidade e 71% de especificidade para PM_{2,5} e 83% de sensibilidade e 79% de especificidade para CO.

Figura 44: (A, B, C): Curvas ROC construídas com dados do modelo multipolvente (PM_{2,5} e CO), *lag 1*, *lag 2* e *lag 3* respectivamente, Volta Redonda, 2012.



Utilizando *rule viewer* (Figura 45), o modelo permite prever 2,62 interações para as entradas 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, 108 ppb de CO e 24°C de TEMP, para as mesmas variáveis o número de interações reais foi de 2. Para o caso de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, 359 ppb de CO e 25°C de TEMP, o modelo apresentou 5,83 interações e os dados reais o número de interações foi de 5 (Figura 46).

Figura 45: *Rule viewer* para o modelo multipolvente (exemplo 1).

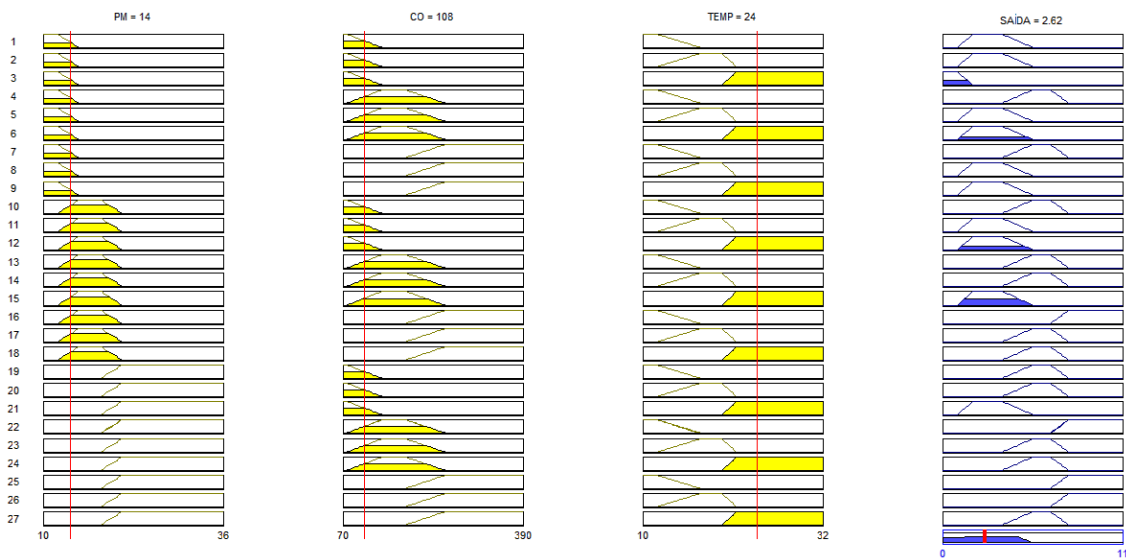
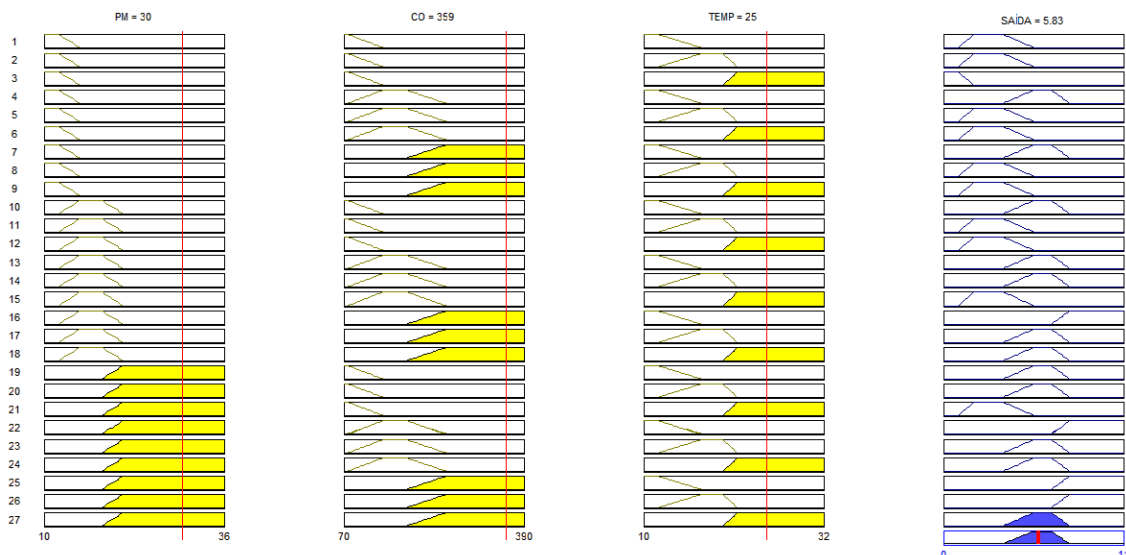


Figura 46: *Rule viewer* para o modelo multipolvente (exemplo 2).



O modelo apresentou uma boa acurácia para a previsão de interações por pneumonia, bronquite, bronquiolite e asma em Volta Redonda, RJ, como mostraram as curvas ROC, segundo a exposição ao material particulado fino e ao monóxido de carbono. Até onde é do

nosso conhecimento, este é o primeiro estudo realizado no Brasil com dados estimados por modelo e utilizando as ferramentas da lógica *fuzzy*.

A importância de se estudar em Volta Redonda é que esta cidade possui um importante polo siderúrgico brasileiro. Os valores médios encontrados para o $PM_{2,5}$ correspondem $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , e ultrapassaram 22 oportunidades os limites estabelecidos pela OMS. Os valores médios encontrados para o CO, apesar de não terem ultrapassados os limites estabelecidos pela OMS, podem potencializar os efeitos causados pelo $PM_{2,5}$. Esses efeitos costumam ser mais tardios e é importante para o gestor municipal essa informação, dada que a concentração do material particulado e o monóxido de carbono à medida que aumentam é possível fazer essa predição.

Durante o período de estudo, observou-se que o modelo tem uma boa acurácia na previsão para internações por doenças respiratórias na população tanto para o $PM_{2,5}$ quanto para o CO, um, dois e três dias após a exposição a estes poluentes.

Os estudos que tratam dos efeitos da exposição aos poluentes do ar utilizam os modelos de regressão, como por exemplo a regressão de Poisson ou regressão linear. Mas esses modelos de regressão estimam o risco de ocorrer internações decorrentes do aumento nas concentrações de determinados poluentes, e o modelo *fuzzy* estima um número possível de internações.

Andrade Filho *et al.* (2013) utilizaram regressão linear múltipla, mostrando que não houve associação positiva entre as internações e a exposição ao poluente, mas as internações pareciam estar associadas às condições meteorológicas, principalmente a umidade.

Fisher (2003) faz uma revisão propondo uma abordagem *fuzzy* para estudar os efeitos da poluição do ar. Este autor apresenta exemplos de sua aplicação na incerteza dos dados de poluição do ar e ilustra a flexibilidade desta abordagem tomando exemplos de gestão da qualidade do ar, a prevenção e controle integrados da poluição, e avaliação da saúde humana.

Uma abordagem *fuzzy* semelhante foi adotada em estudo sobre a duração média de hospitalização por pneumonia (Nascimento, Rizol e Peneluppi 2014), em que os efeitos da exposição tiveram como saída a duração em dias das internações, este trabalho mostrou que com o aumento das concentrações dos poluentes o tempo médio de internação aumentava.

Pereira *et al.* (2004) mostraram as relações com modelo *fuzzy* para fazer o diagnóstico de pneumonia, utilizando sinais clínicos para diagnóstico de pneumonia, mas esta abordagem foi com relações *fuzzy*.

No modelo linguístico *fuzzy* apresentado nesse estudo, a saída é o número possível de internações segundo a concentração do $PM_{2,5}$ e CO ajustado pela temperatura, de um até três dias após a exposição.

Não foram encontrados estudos brasileiros sobre os efeitos da exposição a poluentes atmosféricos e doenças respiratórias hospitalar utilizando lógica *fuzzy*. Portanto, uma comparação do desempenho do modelo apresentado neste estudo tornou-se mais difícil.

Outras vantagens deste modelo são a sua aplicação em qualquer local onde há dados disponíveis sobre os mesmos poluentes do ar e da facilidade de obtenção dos resultados previstos. O uso dos dados estimados por esse sistema, validados por Ignotti *et al.* (2010) permite baratear os custos de pesquisa e agilizar o processo de análise dos efeitos da poluição atmosférica na saúde. Criação de programa executável, que não exige um grande investimento, juntamente com o uso de um instrumento portátil pode permitir uma estimativa de tempo de internação e prestar apoio aos gestores municipais de saúde. Além disso, o modelo fuzzy é muito simples e implica em baixas despesas computacionais, tornando possível uma implementação.

Esse estudo tem limitações. Uma delas é que as concentrações dos poluentes são dados estimados obtidos por modelagem e não dados reais obtidos por monitores. Uma outra possível limitação reside no fato das internações se restringirem aos usuários do SUS, não incorporando aqueles usuários de planos de saúde e particulares. Não são incluídos também aqueles atendidos no sistema ambulatorial, muitos pacientes também são atendidos em Postos de Saúde, medicados e liberados e, não entram nas estatística das internações. O Datasus, fonte dos dados de internação, não contempla co-morbidades e outras situações associadas as doenças respiratórias como tabagismo. Outra limitação pode estar associada a erros de diagnósticos das doenças respiratórias.

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho atingiu seu objetivo, construir um modelo preditivo utilizando o Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF), para estimar o número de internações por doenças respiratórias, pela exposição aos poluentes $PM_{2,5}$ e CO, obtidos pelo modelo matemático – CCATT-BRAMS, em residentes na cidade de Volta Redonda – RJ, sendo que:

- O modelo apresentou uma boa acurácia para a previsão de internações por pneumonias, bronquite, bronquiolite e asma em Volta Redonda, RJ, segundo a exposição ao material particulado fino e ao monóxido de carbono.
- As informações fornecidas neste estudo podem ser utilizadas por gestores municipais, capacitando os hospitais para internações por doenças respiratórias por meio de construção de programa executável, que não exige um grande investimento, juntamente com o uso de um instrumento portátil pode permitir uma estimativa de tempo de internação e prestar apoio aos gestores municipais de saúde.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE FILHO V. S. *et al.* Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 239-247, abr. 2013.
- ARBEX M. A. *et al.* Air pollution and the respiratory system. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 38, n. 5, p. 643-655, set/out. 2012.
- BANKONYI S. M. C. *et al.* Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 5, p. 695-700, out. 2004.
- BASCON E COLS. Health Effects of Outdoor Air Pollution. **Am. J. Crit. Care Med.** v. 153, n. 1, p. 3-50, jan. 1996.
- Bettmann/Corbis. Donora Zinc Works of the U.S. Steel Corporation is dimly seen through fume-laden smoke and fog. Disponível em: <http://www.wired.com/2010/10/1026donora-pennsylvania-killer-smog/>. Acesso em: 14/11/2014.
- BRAGA A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, v. (s/v), n. 51, p. 58-71, set/nov. 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA); **Resolução Conama 03/90**: Estabelece critérios de classificação da balneabilidade. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 14 nov. 2014.
- CALDEIRA A. M. *et al.* **Inteligência computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab®**. São Paulo: Tomson, 2007. 384 p.
- CANÇADO J. E. D. *et al.* The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environ Health Perspect**, Bethesda, v. 5, n. 114, p. 735-739, mai. 2006.

CESAR A. C. G., NASCIMENTO L. F. C., CARVALHO Jr. J. A. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 6, n. 47, p. 1209-1212, dez. 2013.

CETESB. **Relatório de qualidade do ar 2014**. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: 14/11/2014.

CHAVES L. E. **Fuzzy and neuro-fuzzy computational models to evaluate air pollutants effects**. 2013. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Projetos) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

CHAVES L. E.; NASCIMENTO L. F. C. Estimando o desfecho no recém-nascido usando lógica *fuzzy*. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 164-170, jun. 2014.

CPTEC - INPE. **Qualidade do ar**. Disponível em: <http://meioambiente.cptec.inpe.br/index.php?lang=pt> . Acesso em: 03/07/2015.

CPTEC- INPE. **Relatório de poluentes do ar**. CATT-BRAMS, Cachoeira Paulista, 2011. 1 HD.

CPTEC- INPE. **Relatório de poluentes do ar**. CATT-BRAMS, Cachoeira Paulista, 2012. 1 HD.

DATASUS. **Portal da Saúde**. Disponível em: www2.datasus.gov.br/. Acesso em: 18 mai. 2014.

DAUMAS R. P.; MENDONÇA G. A. S.; LEÓN A. P. Poluição do ar e mortalidade em idosos no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 20, p. 311-319, jan/fev. 2004.

FISHER B. Fuzzy environmental decision-making: applications to air pollution. **Atmospheric Environment**, Leiden, v. 37, n. 14, p. 1865-1877, mai. 2003.

FONSECA F. R.; VASCONCELOS C. H. Estudo da distribuição de doenças respiratórias no estado de Santa Catarina, Brasil. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 454-60, out. 2011.

FREITAS S. R. *et al.* The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 9, n. 7, p. 2843-2861, jun. 2009.

Google Maps. Disponível em:
<https://www.google.com.br/maps/place/Volta+Redonda,+RJ/@-22.5052788,-44.1593661,12z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x9ea2ac4b4e5c1d:0xd475bc9356fcad22>.
Acesso em: 11/10/2014.

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

GOUVEIA N.; HABERMANN M. Tráfego veicular e mortalidade por doenças do aparelho circulatório em homens adultos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 26-33, fev. 2012.

GRANDE NEVOEIRO DE 1952. Disponível em:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Grande_Nevoeiro_de_1952. Acessado em 14 nov. 2014.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 11 jun. 2014.

IGNOTTI E. *et al.* Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 121-30, fev. 2010.

KOIFMAN S. *et al.* Differential susceptibility according to gender in the association between air pollution and mortality from respiratory diseases. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 9, p. 1827-1836, set. 2011.

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. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 10, n. 10, p. 5785-5795, jun. 2010.

LONGO K. M. *et al.* The Chemistry CATT-BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): a regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. **Geoscientific Model Development**, v. 13, n. 6, p. 1389-1405, set. 2013.

MARTINEZ E. Z.; NETO F. L.; PEREIRA B. B. A curva ROC para teste diagnósticos. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 7-31, 2003.

MENDEL J. M. Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions. Upper Saddle River, NJ: **Prentice-Hall PTR**, 2001

NASCIMENTO L. F. C.; ORTEGA N. R. S. Fuzzy linguistic model for evaluating the risk of neonatal death. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 686-692, dez. 2002.

NASCIMENTO L. F. C. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 77-82, jan/fev. 2006.

NASCIMENTO L. F. C.; RIZOL P. M. S. R.; ABIUZI L. B. Establishing the risk of neonatal mortality using a fuzzy predictive model. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 9, p. 2043-2052, set. 2009.

NASCIMENTO L. F. C.; FRANCISCO J. B. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, ago. 2013.

NASCIMENTO L. F. C., RIZOL P. M. S. R., PENELUPPI A. P. Estimating the average length of hospitalization due to pneumonia: a fuzzy approach. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 47, n. 11, p. 977-981, ago. 2014.

NEGRISOLI J.; NASCIMENTO L. F. C. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. **Revista Paulista Pediatria**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 501-506, dez. 2013.

ORTEGA N. R. S. **Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina**. 2001. 166f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física da Universidade São Paulo, São Paulo. 2001.

ORTEGA N. R. S. Lógica *fuzzy*: suas ideias e seus percursos. In: MASSAD E.; MENEZES R. X.; SILVEIRA P. S. P. **Métodos Quantitativos em Medicina**. 1ª ed. Barueri: Manole, 2004. v. 1, cap. 25. 2, p. 470

PEREIRA J. C. R. *et al.* Clinical signs of pneumonia in children: association with and prediction of diagnosis by fuzzy sets theory. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 37, n. 5, p. 701-709, mai. 2004.

REZNIK L. **Fuzzy Controllers**. 1. ed. B. H. Newnes, Reino Unido, 1997. 285 p.

ROCHA P. M. S. **Projeto de um defuzificador analógico integrado em tecnologia CMOS**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

ROMAN V. V. L. **Efeitos da exposição aos poluentes do ar com base nas internações por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de Taubaté, SP**. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru – SP, 2014.

RUMEL D. *et al.* Infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral associados à alta temperatura e monóxido de carbono em área metropolitana do sudeste do Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 15-22, fev. 1993.

RUSSO P. R. Poluição atmosférica: Refletindo sobre a qualidade ambiental em áreas urbanas. **Revista Educação Pública**. Reflexão e interação de educadores, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/geografia/0005.html>. Acesso em: 13 nov. 2014.

SÃO PAULO a. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar**. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar. Acesso em: 05 mai. 2014.

SÃO PAULO b. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar**. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historic. Acesso em: 11 nov. 2014.

SOUSA C. A.; DUARTE P. S.; PEREIRA J. C. R. Lógica *fuzzy* e regressão logística na decisão para prática de cintilografia das paratiróides. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 5, p. 898-906, out. 2006.

TANAKA Kazuo. **An Intruduction to Fuzzy Logic for Practical Applications**. Spring. ISBN 0-387-94807-4 138p.

YEN J. & LANGARI R. **Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information**. Prentice Hall, New Jersey, EUA, 1999.

ZADEH L.A. 1965. “**Fuzzy Sets**”. *Information and Control* v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZWEIG M. H., CAMPBELL G. Receiver-operation characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*, v. 39, n. 4, p. 561-577, 1993.