

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Programa de Pós-graduação em Meteorologia



Dissertação

**Relação entre variáveis ambientais e problemas respiratórios em
crianças da cidade de Canoas, Rio Grande do Sul**

Igor Rojahn da Silva

Pelotas, 2017

Igor Rojahn da Silva

**Relação entre variáveis ambientais e problemas respiratórios em crianças
da cidade de Canoas, Rio Grande do Sul**

Dissertação apresentada no Centro de pesquisas e previsões (CPPMet) no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Meteorologia (M.M).

Orientador: Prof. Dr. Anderson Spohr Nedel

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586r Silva, Igor Rojahn da

Relação entre variáveis ambientais e problemas respiratórios em crianças da cidade de Canoas, Rio Grande do Sul / Igor Rojahn da Silva ; Anderson Spohr Nedel, orientador. — Pelotas, 2017.

101 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Doenças respiratórias. 2. Asma. 3. Ira. 4. Tipos de tempo. I. Nedel, Anderson Spohr, orient. II. Título.

CDD : 618.922

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Igor Rojahn da Silva

Relação entre variáveis ambientais e problemas respiratórios em crianças da cidade de Canoas, Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Anderson Spohr Nedel (Orientador)

Doutor em Meteorologia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Júlio Renato Quevedo Marques

Doutor em Agrometeorologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves

Doutor em Meteorologia pela Universidade de São Paulo

Pelotas, 2017

Dedicatória

Dedico este trabalho à sociedade (principalmente às crianças) e às pessoas
mais significativas na minha vida:
meu filho,
minha esposa,
meus pais,
e meus irmãos.

Agradecimentos

Ao meu filho, muito amado, João Vítor, que traz cada vez mais alegria a minha vida e faz com que eu procure me torne uma pessoa cada vez melhor.

À minha esposa, Rossana, grande companheira em todos os momentos, cada vez mais minha amiga, cada vez mais amada por mim.

À minha mãe, Maria Elaine (Lana) (in memorian), quem me ensinou os principais valores da minha vida, grande referência. Junto com meu pai, sempre me deram subsídios para que eu pudesse me dedicar integralmente aos estudos.

Ao meu pai, Luiz Carlos (in memorian), quem eu tenho muita saudade, muita vontade de abraço e agradecê-lo por tudo, pelo grande pai que foi, o que pude mensurar com mais clareza, após o nascimento do João Vítor.

À minha irmã, Aline (in memorian), uma grande batalhadora (assim como meu filho), quem não a vejo a dezesseis anos, foram muitas “brigas de irmãos” (éramos muito novos), mas o amor sempre prevaleceu. Um dia todos nos reencontraremos.

Ao meu irmão, Iuri, quem eu vejo muito pouco devido à distância. Também é uma pessoa com quem aprendi muita coisa, talvez seja a pessoa mais dinâmica que conheço.

Ao primo (praticamente irmão), Gordo (Paulo Roberto), grande amigo desde sempre, uma das pessoas mais divertidas que conheço e com quem aprendi muito.

Ao meu orientador, Anderson, por toda dedicação com este trabalho e pela compreensão que sempre teve frente as minhas dificuldades.

Ao professor Júlio pelo apoio nas análises estatística deste trabalho.

Aos demais professores, que possibilitaram o meu ingresso no curso, tiveram muita compreensão e procuraram me ensinar um “pouco” de meteorologia.

Aos colegas de mestrado, Luciano, Mateus, Karen, Yasmany e Dayana grandes amigos, que foram fundamentais na minha aproximação com a meteorologia.

Aos colegas Lanzoerques e Lucão, grandes amigos.

Ao meu amigo Peixe (Daniel), grande pessoa, super parceiro, sem ele talvez não tivesse entrado neste mestrado, e a sua esposa, Istael.

Aos amigos de longa data, Cascudo (André) e Denise, dindos com muitos méritos do meu filho, sempre prontos para ajudar.

Aos familiares da Rossana: Joca, Mara, Dedé, Jose, Luis e Marlene por sempre me apoiarem.

À médica Juliana Seibert, pela atenção, apoio e interesse nesta pesquisa.

À Natália Lemke, que num período de descrença, me mostrou que pesquisar não era algo impossível.

Ao IFSul por ter possibilitado que eu me ausentasse das atividades docentes em prol do meu mestrado.

Aos colegas da Coordenadoria de Física/IFSul pelo apoio que deram para que eu me dedicasse com mais tranquilamente a este trabalho.

Ao INMET pela cedência dos dados meteorológicos.

À FEPAM por ceder os dados de poluição.

Ao Centro Estadual de Vigilância em Saúde, da Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul (CEVS/SES) por ceder os dados de saúde.

E aos demais amigos, professores (que passaram pela minha vida) e familiares que de alguma forma contribuíram para eu chegar até aqui.

Resumo

ROJAHN, Igor da Silva. Relação entre variáveis ambientais e problemas respiratórios em crianças da cidade de Canoas, Rio Grande do Sul. 2017. 101f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Em virtude da necessidade de ampliar a compreensão sobre as enfermidades que frequentemente afetam os seres humanos, esta pesquisa teve por objetivo analisar a associação entre diferentes tipos de tempo e a ocorrência de doenças respiratórias em crianças (0 a 5 anos) do município de Canoas, RS. Os dados de saúde foram coletados de consultas em postos de saúde, entre janeiro/2005 a setembro/2008, onde as complicações respiratórias foram classificadas em 3 grupos: Asma (asma e bronquite), IRA (Infecções Respiratórias Aguda) e Asma/IRA (junção de Asma e IRA). Inicialmente foi realizada uma análise descritiva dos dados de saúde e meteorológicos, seguida por uma análise de correlação. Após isso, foram selecionados os períodos e as variáveis para as análises de componentes principais (ACP), que possibilitou a obtenção de tipos específicos de tempo associados ao aumento de consultas e a criação de modelos matemáticos estimadores de consultas (a partir da técnica de regressão linear). Por fim, foi realizado um estudo de caso, utilizando campos meteorológicos e trajetórias de massas de ar através de dados de reanálise. Os resultados encontrados mostraram que os três grupos de doenças apresentaram comportamento, relativamente, semelhante em relação às variáveis ambientais (às 12Z, horário que foi mais representativo), no entanto, as maiores associações ocorreram com o grupo Asma/IRA, onde os aumentos das consultas estiveram relacionados, principalmente, com a queda na temperatura do ar (no mesmo dia ou no dia anterior), seguido pelo aumento da pressão atmosférica e da umidade relativa (UR) (ambos no mesmo dia), diminuição no índice de conforto térmico humano (ICTH; dois dias antes) e aumento das concentrações de monóxido de carbono (cinco dias antes) e de Material particulado (PM₁₀; no mesmo dia da consulta). Quanto aos maiores aumentos na frequência diária de consultas por Asma/IRA, em relação às médias de todo o período estudado, observou-se uma associação com as anomalias negativas de temperatura e ICTH e positivas de pressão atmosférica e da UR durante o dia das consultas e os três dias antecedentes a esta, tal situação pode ocorrer com a passagem de uma frente fria e a presença de um sistema de alta pressão atmosférica, mostrando, portanto, que o frio úmido é a condição mais nociva à saúde respiratória. Nos meses com mais complicações respiratórias, junho e julho, os dias com as maiores procuras estiveram associados,

em relação às médias neste período, a anomalias positivas de UR (três dias antes das consultas), a anomalias positivas de ICTH (dois dias antes), a anomalias negativa de direção do vento (direção norte a leste, um dia antes), e no dia, a anomalias negativas de ICTH e positivas de pressão atmosférica e velocidade do vento. Os modelos criados, podem futuramente, fornecer subsídios necessários para a construção de um modelo preditivo de consultas por problemas respiratórios para o município de Canoas, RS.

Palavras-chave: Doenças respiratórias; Asma; IRA; Tipos de tempo

Abstract

ROJAHN, Igor da Silva. Relationship between environmental variables and respiratory problems in children of Canoas city, Rio Grande do Sul. 2017. 101f. Dissertation (Master in Meteorology) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Because of the need to expand the understanding of the diseases that often affect humans, the objective of this research was to analyze the association among different types of weather and the occurrence of respiratory diseases in children (0 to 5 years old) of the municipality of Canoas, RS. Health data were collected of consultations at health posts between January/2005 and September/2008, where respiratory complications were classified into three groups: Asthma (asthma and bronchitis), ARI (Acute Respiratory Infections) and Asthma/ARI (junction of Asthma and IRA). Initially, a descriptive analysis of the health and meteorological data was carried out, followed by a correlation analysis. After that, were selected the periods and the variables for the principal component analysis (PCA), which enabled to be obtained specific time types associated with increased of queries and the creation of mathematical models estimator of queries (from the linear regression technique). Finally, a case study was carried out, using meteorological fields and air mass trajectories through reanalysis data. The results showed that the three groups of diseases showed a relatively similar behavior in relation to the environmental variables (at 12Z, which was the most representative time), however, the largest associations occurred with the Asthma/ARI group, where the increase of their consultations was mainly related to the drop in air temperature (on the same day or one day before), followed by an increase in atmospheric pressure and relative humidity (RH; both on the same day), decrease in human thermal confort index (HTCI; two days before) and increase concentrations of Carbon Monoxide (five days before) and of inhalable particles (PM10; same day). Regarding the highest increases in the daily frequency of consultations for Asthma/ARI, in relation to the averages of the entire period studied, was observed an association with the negatives anomalies of temperature and HTCI and positive anomalies of atmospheric pressure and RH during the day of the consultations and the three days previous to this, such situation may occur with the passage of a cold front and the presence of a system of high atmospheric pressure, showing, therefore, that wet cold is the most harmful condition to respiratory health. In the months with more respiratory complications, June and July, the days with the highest searches were associated, in relation to averages in this period, with positive RH anomalies (three days before to consultations), positive HTCI anomalies (two days before), negative wind direction anomalies (direction north to east, one day before), and on the day,

negative HTCI anomalies and positives atmospheric pressure and wind speed anomalies. The models created may, in the future, provide necessary subsidies for the construction of a predictive model of consultations for respiratory problems for the Canoas city, RS.

Key-words: Respiratory diseases; Asthma; ARI; Types of weather

Lista de Figuras

Figura 1	Sistema respiratório humano	26
Figura 2	Distribuição dos quartis	37
Figura 3	Regressão linear simples e seus resíduos	40
Figura 4	Mapa do RS com a regiões de estudo (Canoas)	45
Figura 5	Mapa de Canoas com as estações de monitoramento da qualidade do ar pela FEPAM	48
Figura 6	Distribuição das consultas diárias ao longo dos dias da semana	52
Figura 7	Percentual de consultas por sexo em cada grupo de doenças	53
Figura 8	Distribuição de todos os dias e consultas em termos da temperatura do ar e da umidade relativa do ar para às 12Z (a) e 18Z (b)	54
Figura 9	Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por Asma, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008	55
Figura 10	Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008	56
Figura 11	Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008	56
Figura 12	Variabilidade mensal do índice de conforto térmico humano médio, pressão atmosférica média e da frequência de consultas (dividida por 10), às 12Z, entre jan/2005 a set/2008, para o grupo Asma (a), IRA (b) e Asma/IRA (c)	57
Figura 13	Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008	59
Figura 14	Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2005	59
Figura 15	Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2006	60

Figura 16	Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2007	61
Figura 17	Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2008	61
Figura 18	Frequência relativa das consultas por Asma e dos dias com e sem consultas, em função do intervalo de sensação térmica, às 12Z	66
Figura 19	Frequência relativa das consultas por IRA e dos dias com e sem consultas, em função do intervalo de sensação térmica, às 12Z	66
Figura 20	Frequência relativa das consultas por Asma/IRA e dos dias com e sem consultas, em função do intervalo de sensação térmica, às 12Z	67
Figura 21	Série temporal da frequência diária de consultas por Asma/IRA e dos máximos diários de PM10	69
Figura 22	Série temporal da frequência diária de consultas por Asma/IRA e dos máximos diários de monóxido de carbono	70
Figura 23	Pesos referentes à CP1 e média das variáveis mais influentes no período de janeiro/2005 a setembro/2008	72
Figura 24	Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e frequências estimadas pelos modelos para o período de janeiro/2005 a setembro/2008	74
Figura 25	Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para o período de jan/2005 a set/2008	75
Figura 26	Pesos referentes à CP1 e média das variáveis mais influentes nos períodos de março a agosto	76
Figura 27	Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e as frequências estimadas pelos modelos para os períodos de março a agosto.....	77
Figura 28	Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para os períodos de março a agosto	78
Figura 29	Pesos referentes às componentes 1, 5 e 8 e média das variáveis mais influentes nos períodos de abril a julho	80
Figura 30	Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e as frequências estimadas pelo modelo para os períodos de abril a julho	81
Figura 31	Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para os períodos de abril a julho	81
Figura 32	Pesos referentes às componentes 4 e 7 e média das variáveis mais influentes no período de junho a julho	83
Figura 33	Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e as frequências estimadas pelo modelo para os períodos de junho e julho	84
Figura 34	Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para os períodos de junho a julho	84

Figura 35	Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 05/07/2005 às 12Z.	86
Figura 36	Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 06/07/2005 às 12Z.	86
Figura 37	Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 07/07/2005 às 12Z.	87
Figura 38	Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 08/07/2005 às 12Z.	88
Figura 39	Massas de ar que chegaram a Canoas (altura de 500m), às 12Z, em (a) 05/07/2005, (b) 06/07/2005, (c) 07/07/2005 e (d) 08/07/2005	89

Lista de Tabelas

Tabela 1	Percentual de internações via SUS, por faixa etária, para doenças do aparelho respiratório no ano de 2009.....	19
Tabela 2	Distribuição das zonas de conforto e desconforto térmico	25
Tabela 3	Principais poluentes atmosféricos, suas fontes e efeitos sobre a saúde	29
Tabela 4	Agrupamento das doenças em estudo - Vigiar/RS	46
Tabela 5	Padrões nacionais de qualidade do ar	48
Tabela 6	Medidas descritivas das consultas diárias	52
Tabela 7	Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por Asma, em função do “lag” e horário	63
Tabela 8	Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por IRA, em função do “lag” e horário	64
Tabela 9	Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por Asma/IRA, em função do “lag” e horário	65
Tabela 10	Coeficientes de correlação entre as concentrações diárias máximas de PM10 e as frequências diárias de consultas	68
Tabela 11	Coeficientes de correlação entre as concentrações diárias máximas de CO e as frequências diárias de consultas	70
Tabela 12	Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de jan/2005 a set/2008	72
Tabela 13	Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de março a agosto	75
Tabela 14	Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de abril a julho	76
Tabela 15	Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de junho a julho ..	82

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACP	Análise de componentes principais
ARL	Air Resources Laboratory
Asma	Grupo de doenças constituído por Asma e Bronquite
Asma/IRA	Grupo de doenças constituído por Asma, Bronquite e IRA
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CID - 10	Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde - Décima Revisão
CO	Monóxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Componentes principais
CTH	Conforto térmico humano
DirV	Direção do vento
e	Peso das anomalias das variáveis (na ACP)
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
Freq	Frequência de doenças
HI	Heat Index
HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
ICTH	Índice de conforto térmico humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IRA	Infecção Respiratória aguda (Grupo de doenças)
ISB	International Society Biometeorology
PM10	Material particulado com diâmetro menor ou igual a 10 µm
N	Nebulosidade
NCEP	National Center for Environment Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
P	Pressão atmosférica
P _n	Percentil n

r	Coeficiente de correlação
RLS	Regressão linear simples
RLM	Regressão linear múltipla
RS	Rio Grande do Sul
TEv	Temperatura efetiva em função do vento
Vigiar	Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Poluentes Atmosféricos

Sumário

1	Introdução	18
2	Revisão Bibliográfica	20
2.1	A Biometeorologia	20
2.2	Conforto térmico humano	21
2.2.1	Equação do balanço de calor humano	22
2.2.2	Índices de conforto térmico humano	24
2.3	Sistema respiratório humano.....	26
2.4	Poluição atmosférica	26
2.4.1	Efeitos da poluição atmosférica sobre o sistema respiratório	28
2.5	Alguns estudos.....	29
2.6	Fatores de confusão	36
2.7	Métodos estatísticos	37
2.7.1	Quantis	37
2.7.2	Análise de correlação	38
2.7.3	Regressão linear simples	39
2.7.4	Regressão linear múltipla	41
2.7.5	Análise de componentes principais	41
3	Materiais e Métodos	44
3.1	Área de estudo	44
3.2	Dados de saúde	45
3.3	Dados meteorológicos.....	47
3.4	Dados de poluição	47
3.5	Estrutura de defasagem (<i>Lag</i>)	49
3.6	Metodologia	50
4	Resultados e Discussões	51

4.1	Análise Descritiva	51
4.1.1	Séries temporal mensal das variáveis meteorológicas e consultas ambulatoriais	54
4.1.2	Séries temporal diária das variáveis meteorológicas e consultas ambulatoriais	58
4.2	Análise de Correlação.....	62
4.3	Classificação das consultas em função do ICTH	65
4.4	Análise do comportamento dos poluentes	67
4.4.1	Material particulado (PM10)	67
4.4.2	Monóxido de carbono (CO)	69
4.5	Análise de Componentes Principais (ACP)	71
4.5.1	Análise de Componentes Principais para o período de janeiro/2005 a setembro/2008	71
4.5.2	Análise de Componentes Principais para os períodos de março a agosto ..	75
4.5.3	Análise de Componentes Principais para os períodos de abril a julho	78
4.5.4	Análise de Componentes Principais para os períodos de junho a julho	82
4.6	Estudo de Caso	85
4.6.1	Evento do dia 08 de julho de 2005	85
5	Conclusões	90
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	92
	Publicação realizada durante a execução deste estudo	93
	Referências.....	94

1 Introdução

O homem desde seu nascimento vive imerso na atmosfera, tendo uma estreita e contínua interdependência com a mesma, a qual inclui a variabilidade do clima local e do estado do tempo diário (LECHA, 2013). Logo, compreender como a atmosfera influencia o ser humano é fundamental, várias doenças, assim como o humor de muitas pessoas são diretamente influenciadas pelo clima e pelo tempo, por exemplo, é comum uma pessoa ficar triste pelo fato do dia estar nublado ou sentir dores nas articulações pouco antes de chover.

Diariamente, muitas pessoas se preocupam em acompanhar a previsão do tempo, geralmente interessadas se fará frio ou calor e se irá chover ou não, situações estas que interferem de fato no cotidiano do ser humano, no entanto, as estimativas do comportamento do tempo podem ir muito além dessa previsão. Tais prognósticos podem ser utilizados no gerenciamento agrícola, no planejamento de voos, na navegações e transportes rodoviários, na geração de energia elétrica, dentre outras. Uma aplicação extremamente importante e que pode ser bem mais explorada é a utilização da previsão do tempo na mitigação de problemas à saúde da população.

As crianças (assim como os idosos) representam a parcela da sociedade mais vulnerável às mudanças no tempo e no clima. Piva et al. (1998) destacam que a suscetibilidade das crianças vai desde peculiaridade anatômicas até características fisiológicas e imunológicas, cujo sistema imunológico é menos desenvolvido que o dos adultos, com baixa produção de anticorpos. De acordo com os indicadores de morbidade (DATASUS, 2016), para o ano de 2009 as internações por doenças respiratórias foram as mais recorrentes entre as crianças de 0 – 9 anos, tendo o Rio Grande do Sul (RS) superado a média do Brasil (principalmente entre 1 – 4 anos, respondendo praticamente pela metade do total de internações para essa faixa etária no Estado) (Tabela 1). Muitos estudos como Maia e Gonçalves (2002); Braga et al. (2001);

Gonçalves et al. (2005); Coelho (2007); Nedel (2008); Jasinzki et al. (2011); Arbex et al. (2012); Souza et al. (2014); Lopes (2015); e Nascimento et al. (2017) já destacavam a alta suscetibilidade das crianças (principalmente entre 0 e 5 anos) a problemas respiratórios como consequência do tempo e do clima.

Tabela 1 - Percentual de internações via SUS, por faixa etária, para doenças do aparelho respiratório no ano de 2009.

Menor 1 ano		1 a 4 anos		5 a 9 anos	
BR	RS	BR	RS	BR	RS
36,23	40,11	44,85	49,30	30,52	32,53

Fonte: Adaptado de TabNet/DATASUS (Indicadores de morbidade), 2016.

Os neonatos possuem a relação entre a superfície corporal e seu peso 2,5 vezes maior que em adultos, as crianças também possuem o metabolismo basal mais elevado (logo possuem uma maior perda radioativa), além disso, nas vias aéreas das crianças (por unidade de massa) passam o dobro do volume de ar que nos adultos (ANDREOLI et al., 1993; CARDOSO, 1997; GINA, 2006 apud COELHO, 2007).

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a associação entre diferentes tipos de tempo e a ocorrência de doenças respiratórias em crianças de Canoas, Rio Grande do Sul. Para tanto, os objetivos específicos são: avaliar a variabilidade diária, mensal e interanual das doenças respiratórias; analisar o comportamento das variáveis ambientais (meteorológicas e poluentes atmosféricos) e índices de conforto térmico humano e o aumento de problemas respiratórios em crianças, bem como, os diferentes “tipos de tempo” associados a esses aumentos; e viabilizar a criação de um modelo matemático capaz de explicar a relação entre variáveis meteorológicas e doenças respiratórias, propiciando a previsibilidade destas.

2. Revisão Bibliográfica

Conforme descrito por Sampaio e Dias (2014), a eficiência em prever o tempo e o clima tem aumentado muito nas últimas décadas em virtude de um maior conhecimento da atmosfera e sistemas climáticos, somados a evolução de métodos numéricos e capacidade de processamento dos computadores. Nesse sentido é possível desenvolver modelos de previsões biometeorológicas e acoplá-los a modelos de previsão do tempo, fazendo, desta forma, com que as pessoas possam se precaver ou atenuar possíveis complicações associadas a alterações no tempo, assim como os serviços de saúde se preparar para um aumento de enfermidades específicas, a exemplo do índice ultravioleta (IUV). Arroyabe et al. (2015) desenvolveram um aplicativo de alerta biometeorológico chamado “OxyAlert”, o qual é baseado no modelo de previsões biometeorológicas “PronBiomed”, criado por Estradas et al. (2007) a partir da atualização e aperfeiçoamento de um modelo numérico desenvolvido em Cuba por Lecha e Delgado (1996), o qual se fundamenta no cálculo à escala sinótica da diferença em 24 horas da densidade parcial de oxigênio no ar, com antecedência de até 180 horas, utilizando a temperatura do ar, pressão de vapor d’água e pressão atmosférica ao nível do mar, sendo validado na Europa e outras regiões do mundo.

2.1 A Biometeorologia

Cientificamente a influência do tempo e clima à saúde vem sendo estudada há muito anos, sendo os primeiros relatos feitos em 460 – 377 a.C., por Hipócrates considerado por muitos como o pai da medicina. No seu “Tratado de Ares, Águas e Lugares” destacou a importância do tempo e do clima à fisiologia humana, ao destacar que ao estudar de maneira correta a arte da medicina se deveria proceder de alguma

maneiras específicas, entre as quais, conhecer os efeitos à saúde associados a cada estação do ano, assim como os ventos peculiares a cada região em particular. Ao atender uma população desconhecida, o médico deverá conhecer a posição desta região em relação aos ventos, assim como a posição na qual o Sol se põe. Hoje, estas relações são estudadas pela biometeorologia humana.

Segundo a International Society Biometeorology (ISB, 2016), a Biometeorologia é uma ciência interdisciplinar que estuda as interações entre processos atmosféricos e os organismos vivos - plantas, animais e seres humanos. A biometeorologia pode ser dividida em 6 grupos principais: vegetal, animal, humana, cósmica, espacial e paleo-biometeorologia. Sendo a humana, por sua vez, subdividida em: fisiológica, sociológica, patológica, urbana e arquitetônica e náutica,

A biometeorologia humana teve um grande progresso ao longo do século passado, devido, inclusive, ao avanço da estatística no período. Na primeira metade deste século a explicação dos fenômenos das reações do corpo às mudanças climáticas foi o objetivo geral. Na segunda metade, as descrições quantitativas dos intercâmbios térmicos entre o corpo humano e o meio ambiente por meio de modelos de balanço energético do corpo humano ganharam importância crescente. Os métodos da biometeorologia moderna vêm sendo cada vez mais reconhecidos por diversos profissionais como engenheiros e arquitetos (HÖPPE, 1997). O objetivo principal da biometeorologia humana é investigar o impacto dos ambientes (externos ou internos) sob a fisiologia humana (HÖPPE, 1999).

Exceto pelas condições extremas, as mudanças no tempo não podem causar enfermidades, mas podem desencadear a ocorrência de enfermidades agudas ou contribuir para o agravamento de complicações crônicas, caso o organismo não consiga se adaptar a estas mudanças (BUCHER; HASSE, 1993). Complicações respiratórias podem ser causadas ou por condições de curto-prazo (exemplo: péssima qualidade do ar em determinado dia) ou por longos períodos de condições estressantes (por exemplo: uma onda de frio) (HONDULA et al, 2012).

2.2 Conforto térmico humano

Dentre as diversas áreas de estudo da biometeorologia humana está o conforto térmico humano (CTH), que segundo Fanger (1970) é sentido quando a produção de energia devido as reações metabólicas equivalem a perda de energia do corpo para

o meio externo, estabelecendo um equilíbrio entre ambos. Para a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2004) o conforto térmico é a condição onde a mente sente satisfação em relação ao ambiente térmico que se encontra o indivíduo, no entanto devido às reações fisiológicas serem diferentes de uma pessoa para outra, tal condição torna-se imprecisa. De acordo com Givoni (1976), o conforto térmico, assim como a consequente resposta fisiológica do indivíduo dependem da combinação de variáveis pessoais, como a vestimenta e o metabolismo (influenciado pela idade, alimentação, sexo, etc.), e de variáveis ambientais (velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa, etc.). De Dear (2004), destaca que desde o início do século XX, quando os aparelhos de ar condicionado começaram a ser significativamente comercializados, houve uma necessidade prática em pesquisar o conforto térmico dos ambientes. De acordo Wang et al. (2015) a busca por um conforto térmico pode criar situações de risco, uma vez que sistemas de aquecimento (ou resfriamento) ao gerarem campos não uniformes de temperatura “indoor” provocam diferenças marcantes nas respostas termorreguladoras fisiológicas e psicológicas nas pessoas expostas.

Quando as condições ambientais proporcionam perda de calor do corpo além das necessárias para a manutenção de sua temperatura corporal, o organismo reage, através de seus mecanismos termorreguladores, buscando reduzir tais perdas, aumentando a produção de calor metabólico, ocorrendo o contrário quando há ganho de calor (MAIA e GONÇALVES, 2002).

2.2.1 Equação do balanço de calor humano

Os seres humanos são animais homeotérmicos, cuja temperatura habitual está em torno de $36,5^{\circ}\text{C}$, sendo que para manter-se nesta situação é necessário que o fluxo de energia do corpo humano seja nulo, ou seja, o calor que entra, somado ao que é produzido deve ser igual ao cedido para o ambiente, obedecendo à equação 1 do balanço de calor humano (PARSONS, 2003):

$$M - W = E + RHE + C + K + S \quad (1)$$

onde:

M é a taxa metabólica

W é o trabalho mecânico realizado pelo corpo

E é o calor evaporativo ganho ou perdido

RHE é a troca de calor radiante

C é a transferência de calor convectivo

K é transferência de calor por condução

S é o armazenamento líquido de calor

Quando o armazenamento líquido for nulo, o corpo estará em conforto térmico, ou seja, não necessitará, nem receber, nem perder calor. Caso a taxa líquida de S for positiva (negativa) haverá um acréscimo (decréscimo) de temperatura corporal, provocando um desconforto térmico. Em consequência disso o sistema nervoso central localizado no hipotálamo ativa o sistema termorregulador corporal.

O processo termorregulatório do corpo humano mais eficaz quantitativamente é o comportamental (como se agasalhar, o que aprisiona a radiação infravermelha emitida pelo corpo, ou se movimentar, em resposta ao frio, já no caso de calor, reduzir a vestimenta, beber líquido gelado, assim como procurar locais mais adequados em ambas as situações). Também é destacável a significância de vários mecanismos fisiológicos, como a resposta vasomotora, que se caracteriza pela vasodilatação (aumento dos calibres dos capilares sanguíneos subcutâneos) em resposta ao calor (ganho líquido de energia do corpo) e pela vasoconstrição (redução dos calibres dos capilares sanguíneos subcutâneos) em resposta ao frio (perda líquida de energia do corpo), também nesta situação podem ocorrer piloereção (arrepio dos pelos), bem como o tremor, que aumenta o consumo de oxigênio e a taxa metabólica), outra importante manifestação ao calor, é a sudorese (BRAZ, 2005).

De acordo com de Dear (2004), para a manutenção da temperatura interna do corpo, o calor é trocado através da respiração (devido a diferenças de temperatura nas trocas gasosas), radiação (principalmente, infravermelha), evaporação (basicamente, pelo suor, o qual é favorecido pelo vento e dificultado pela umidade), condução (essencialmente no contato com os sólidos) e convecção (pelos fluxos de calor sensível).

2.2.2 Índices de Conforto Térmico Humano

No sentido de quantificar a sensação térmica sentida e avaliar o bem-estar humano, a biometeorologia humana tem utilizado Índices Biometeorológicos, ou Índices de Conforto Térmico Humano (ICTH), os quais são equações matemáticas empíricas que relacionam diferentes variáveis meteorológicas (e pessoais) agindo conjuntamente sobre o homem. Representam quantitativamente a sensação de conforto ou desconforto ao qual os indivíduos estão sujeitos, servindo também para classificar um ambiente como cômodo (ou não cômodo termicamente). Os ICTH não são absolutos, pois podem perder eficácia e/ou confiabilidade por alterações geográficas, sazonais, ou até mesmo por alterações nos valores das variáveis que o constituem, entre outras situações. Além disso, pode ser variável de pessoa para pessoa (variáveis pessoais). Como consequência existe uma quantidade considerável ICTH, no entanto a maioria tem a sua determinação através de algumas variáveis (meteorológicas), com destaque à temperatura do ar e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar.

Através de ICTH, por exemplo, é possível traçar um mapa biometeorológico de determinada região. A exemplo do consagrado Índice Ultravioleta (IUV), que mede a intensidade desta radiação que chega a superfície terrestre, podendo alertar a sociedade quanto aos riscos da exposição da população aos raios solares. Coelho (2007) ao analisar a correlação entre a internação de crianças por problemas respiratórios na cidade de São Paulo encontrou uma melhor correlação com ICTH quando comparada a cada variável meteorológica individualmente.

Um dos índices de conforto térmico utilizados nesta pesquisa foi o *Heat Index (HI)*, o qual é empregado pelo Serviço Meteorológico dos Estados Unidos para emitir alertas de calor. O critério de aplicação foi $T > 26^{\circ}\text{C}$ e $UR \geq 40\%$ (NOAA, 2016). As variáveis que constituem esse índice foram relacionadas por Steadman (1979), no entanto a expressão atual, equação 2, foi desenvolvida por Rothfusz (1990) através de análises estatísticas de regressão múltipla.

$$HI = -42,379 + 2,04901523.T + 10,14333127.UR - 0,22475541.T.UR - (6,83783.10^{-3})T^2 - (5,481717.10^{-2})UR^2 + (1,22874.10^{-3})T^2.UR + (8,5282.10^{-4})T.UR^2 - (1,99.10^{-6})T^2.UR^2 \quad (2)$$

onde:

HI – *Heat Index* (°F)

T – temperatura do ar (°F)

UR – umidade relativa do ar (%)

O outro índice utilizado foi a *Temperatura Efetiva em função do Vento* (TE_v), equação 3, desenvolvido por Suping et al. (1992), o qual se apresentou adequado ao clima do RS, exceto em situações de calor (GOBO; GALVANI, 2012, HAMADA, 2014). Nas condições inadequadas será utilizado o *Heat Índice*.

$$TE_v = 37 - \frac{37 - T}{0,68 - 0,0014 \cdot UR + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29T \left(1 - \frac{UR}{100} \right) \quad (3)$$

onde:

T – temperatura do ar (°C)

UR – umidade relativa do ar (%)

v – velocidade do vento (m/s)

A tabela 2 mostra as sensações térmicas sentida pelas pessoas e as respectivas zonas térmicas (intervalos de ICTH), conforme classificação de Monteiro e Alucci (2007).

Tabela 2 – Distribuição das zonas de conforto e desconforto térmico.

ICTH (°C)	Sensação Térmica
< 4	Muito Frio
4 – 12	Frio a ligeiramente frio
12 – 18	Ligeiramente frio a confortável
18 – 26	Confortável
26 – 31	Confortável a ligeiramente quente
31 – 41	Ligeiramente quente a Quente
> 41	Quente

Fonte: Adaptado de Monteiro e Alucci (2007).

2.3 Sistema respiratório humano

É um sistema único, que começa pelo nariz e termina nos alvéolos pulmonares (Figura 1), sendo dividido em vias aéreas superiores, órgãos fora da caixa torácica (narinas, faringe, laringe e traqueia superior) e vias aéreas inferiores, órgãos internos à caixa torácica (traqueia inferior, pulmões, brônquios, bronquíolos e alvéolos pulmonares). Cada parte desse sistema possui uma função específica, sendo interessante destacar os alvéolos que são os que fazem a passagem do ar para a corrente sanguínea, recebendo em troca o CO_2 (gás carbônico) liberado pelas reações metabólicas (ULBRA-TO, DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA, 2016).

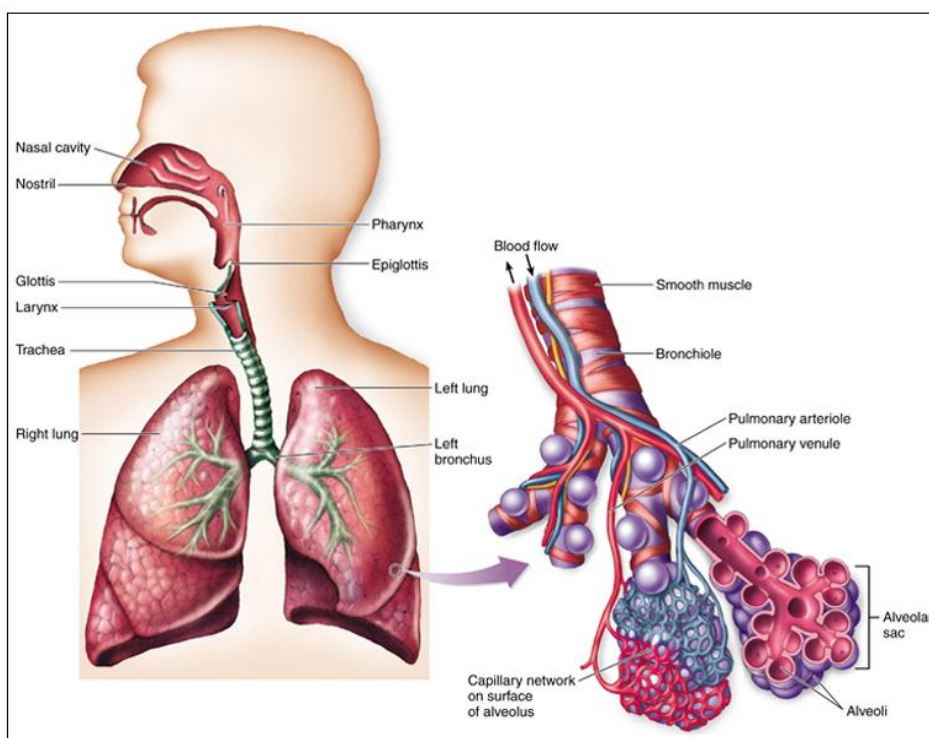


Figura 1 – Sistema respiratório humano.

Fonte: Adaptado de University of Texas at Austin, 2016.

2.4 Poluição Atmosférica

“A atmosfera não possui fronteiras. Na presença das variáveis meteorológicas, a dispersão, transporte e reações químicas e físicas dos poluentes são livres” (AZEVEDO, 2010).

A poluição atmosférica pode ser definida como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que 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 à qualidade de vida da comunidade (RESOLUÇÃO CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 3 de 1990).

Esta mesma resolução, estabelece padrões nacionais de qualidade do ar, cujos valores definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente que garanta a proteção da saúde e do bem-estar da população em geral. Tais padrões dividem-se em dois tipos:

- *Padrões primários* de qualidade do ar, representam as concentrações que, ultrapassadas, poderão prejudicar a saúde da população.
- *Padrões secundários* de qualidade do ar, são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A exigência de um mundo mais dinâmico economicamente remete a um aumento de atividades antrópicas, onde muitas provocam sérios danos ao meio ambiente, como a produção industrial, utilização de veículos automotores, queimadas e conversão de energias. No entanto, o Ministério do Meio Ambiente (2016) destaca que a poluição do ar causa muitos prejuízos financeiros ao Estado, devido a gastos com atendimentos, internações e medicações. Existem, ainda, os efeitos indiretos provocados pelas chuvas ácidas aos solos e as águas.

A Organização Mundial de Saúde (OMS, 2016) alertou que a poluição e os riscos ambientais matam cerca de 12,6 milhões de pessoas por ano no mundo, o que representou quase um quarto do total de mortes no período. Sendo que os mais suscetíveis são as crianças com menos de 5 anos, vítimas principalmente de doenças respiratórias e diarreias, e as pessoas a partir de 50 até 75 anos de idade, que estão mais associadas a doenças não transmissíveis como derrames, ataques cardíacos, cânceres e síndromes respiratórias crônicas. A pesquisa ainda destaca que o correto gerenciamento dos recursos naturais poderia evitar a morte, anual, de 1,7 milhões de crianças e 4,9 milhões de óbitos de adultos e idosos nas faixas etárias indicadas. O estudo cita também algumas medidas que devem ser adotadas, como: a redução do uso de madeira e carvão no preparo de alimentos, aumento ao acesso a

tecnologias de baixo carbono e planejamento adequado de centros urbanos e trânsitos, assim como investimentos em estratégias para reduzir riscos ambientais.

De acordo com Arbex et al. (2012), a exposição crônica à poluição mais do que desencadear doenças pré-existentes, tem ajudado a aumentar o número de casos novos de asma, de DPOC (doença pulmonar obstrutiva crônica) e de câncer de pulmão, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais, tornando os poluentes atmosféricos equivalentes à fumaça do tabaco como principais fatores de risco a estas doenças. Os autores também destacam que as crianças formam o grupo social mais suscetível à poluição, seguidos pelos idosos e portadores de doenças crônicas pré-existentes.

As condições ideais para a dispersão dos poluentes na atmosfera são: clima quente e seco, ausências de inversão térmica e barreiras. Enquanto que climas frio e úmido, inversão térmica e presença de barreiras são considerados como condições não ideais. Para escala sinótica, sistemas de baixa pressão e frentes são favoráveis, já os sistemas de alta pressão estacionários no inverno, assim como inversões térmicas são desfavoráveis. Em mesoescala, as variações diurnas da estabilidade atmosférica, topografia regional e fenômenos associados a essa camada tem vital importância no transporte e dispersão de poluentes. Enquanto na microescala há influência da aerodinâmica associada às edificações, parques industriais, vegetação e superfície (SILVA, A., J., 2010).

2.4.1 Efeitos da poluição atmosférica sobre o sistema respiratório

Uma quantidade enorme de estudos em todo mundo tem demonstrado que a poluição atmosférica pode ser extremamente nociva à saúde humana com destaque a complicações respiratórias. Um resumo dos efeitos provocados pelos poluentes PM₁₀ (material particulado até 10 µm de diâmetro), MP_{2,5} (material particulado até 2,5 µm de diâmetro), MP_{0,1} (material particulado até 0,1 µm de diâmetro), O₃ (ozônio), NO_x (óxidos de nitrogênio), NO₂ (dióxido de nitrogênio), SO₂ (dióxido de enxofre) e CO (monóxido de carbono) ao aparelho respiratório pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Principais poluentes atmosféricos, suas fontes e efeitos sobre a saúde.

Poluente	Fontes	Efeitos à Saúde
PM10	Queima de combustíveis fósseis e biomassa, poeira da rua e de estradas, atividades agrícolas e de construções. Uma das fontes naturais é a atividade vulcânica.	Produz irritação nas vias respiratórias. Causa inflamação pulmonar e sistêmica. Exposição crônica produz remodelamento brônquico, agravamento de asma e DPOC. Pode originar câncer.
MP _{2,5}	Queima de combustíveis fósseis e de biomassa, usinas termoeletricas.	
MP _{0,1}		
O ₃	É um poluente secundário, se forma através de reações químicas complexas entre compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NOx) na presença de luz solar. As principais fontes dos formadores são veículos, indústrias químicas.	Agravamento dos sintomas de asma, de deficiência respiratória, entre outras doenças pulmonares.
NO _x , NO ₂	Combustão de fontes móveis e fixas. Atividade vulcânica descargas elétricas na atmosfera. As fontes biogênicas são mais representativas em escala global, em escalas locais, são menos nocivas, devido a menor concentração.	Irritante. Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior. Aumenta a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções e aos alérgenos.
SO ₂	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição (ex: termoeletrica à carvão), emissão veicular e atividade vulcânica. As fontes antropogênicas são as mais nocivas.	Irritante. Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório. Aumenta a reatividade brônquica, facilitando a broncoconstrição.
CO	Fontes antropogênicas: queimadas, combustão incompleta de combustíveis fósseis (principalmente de veículos automotores) ou outros materiais orgânicos.	União com a hemoglobina, interferindo no transporte de oxigênio para as células, podendo levar à morte. Provoca cefaleia, náuseas e tontura.

Fonte: Adaptado de Künzli (2010) e Arbex (2012).

2.5 Alguns Estudos

Como citado anteriormente, desde o século 4 a.C. tem-se pesquisado a respeito das influências do tempo e do clima sobre os seres humanos, no entanto, conforme destacado por Höpfe (1997), foi o progresso da estatística moderna, da física e da fisiologia no decorrer deste século, fornecendo métodos quantitativos, que tornaram a biometeorologia humana como uma ciência natural reconhecida.

No Brasil, grande parte dos estudos no âmbito da biometeorologia humana têm destacado a relação entre a poluição e as doenças cardiovasculares (ex: Sharovsky (2001); Braun (2003); Lin et al. (2003); Gonçalves et al. (2007)) ou respiratórias (ex: Saldiva et al. (1994); Conde (2001); Cardoso (2007); Coelho (2007); Nedel (2008); Jasinski et al. (2011); Arbex et al. (2007) e (2012); Souza et al. (2014)). Tais enfermidades também são associadas à influência do tempo e do clima, assim como câncer de pele, reumatismo, diabetes (ex: Pereira filho et al. (2008)), doenças associadas a ondas de calor, doenças causadas por vetores: malária, doença de chagas, dengue (ex: Castelhana et al. (2012)), chikungunya, zica vírus e muitas outras.

Há muitas ferramentas utilizadas pela biometeorologia humana, geralmente associadas a métodos estatísticos, as quais costumam ser combinadas entre si, em seus estudos, sendo destacáveis as variáveis meteorológicas, massas de ar (tipos e trajetórias, podendo ser associado ao transporte de aerossóis), concentração de poluentes, análise sinóticas, índices biometeorológicos, sendo que esta última possui muitas pesquisas, em muitos casos associados a padrões construtivos como Nedel (2007) e Silva (2010), logo é uma ferramenta difundida dentro da arquitetura e engenharia. Desta forma, através da junção de alguns métodos é possível criar modelos preditivos de tempos associados a ocorrência de várias doenças.

Jamason et al. (1997) relacionaram as admissões hospitalares por asma na cidade de Nova York às condições sinóticas. Observaram que as condições climáticas têm uma particular importância em duas estações: outono e inverno. Sendo que nestas estações as massas de ar associadas às altas admissões não estão relacionadas às altas concentrações de poluentes e as principais massas de ar estiveram associadas à defasagem de 1 dia. Porém, durante a primavera e o verão as massas de ar associadas com as mais altas morbidades por asma, estão entre aquelas que propiciam as maiores concentrações de poluentes.

Lecha (1998) realizou uma classificação bioclimática de tipos de tempo diários para Cuba (clima tropical úmido), para tanto comparou as variáveis meteorológicas temperatura do ar, pressão parcial de vapor, velocidade do vento, nebulosidade e precipitação, onde encontrou 18 tempos diferentes. Para analisar as reações meteorotrópicas, considerou os atendimentos de emergência em vários hospitais de Cuba, abrangendo todo o território, através de 6 grupos de doenças. Encontrou uma associação significativa entre doenças cardiovasculares e neurológicas com a

ocorrência de estresse por calor, enquanto dias frios e muito frios estavam fortemente relacionados ao aumento de atendimentos hospitalares por asma bronquial, tanto em adultos e crianças, as quais ocorreram principalmente nesse tipo de tempo.

Ruisticucci et al. (2001) analisaram para a cidade de Buenos Aires a relação entre condições de tempo e a entrada de pacientes em salas de emergência hospitalar, durante as estações de verão e inverno. Seus resultados mostraram que durante o inverno houve um aumento de 16,7% nas visitas ao setor de emergência por vários tipos de complicações, ao passo que no verão, houve um maior aumento nas complicações digestivas, de pele e alérgicas. Para problemas respiratórios, as maiores admissões foram observadas um dia após o pico da temperatura do ponto de orvalho. Sendo que apresentou, para o mesmo dia, correlação significativa positiva com a temperatura do ponto de orvalho e negativa com a pressão atmosférica.

Braga et al. (2001) analisaram os efeitos à saúde de crianças e adolescentes devido à poluição do ar em São Paulo. Utilizaram registros diários de admissões hospitalares respiratórias, onde os pacientes foram divididos em cinco grupos de acordo com a faixa etária: menor que 2 anos, 3 – 5 anos, 6 – 13 anos, 14 – 19 anos e de 0 – 19 anos. Comparou a frequência de admissões com a concentração dos poluentes PM₁₀ (material particular de diâmetro menor ou igual a 10 μm), CO, SO₂, NO₂ e O₃ e com a temperatura mínima diária e a umidade relativa ao meio-dia. Verificaram que crianças com menos de dois anos foram as mais suscetíveis aos efeitos dos cinco poluentes, sendo mais influenciados pelos aumentos na concentração de PM₁₀, o grupo mais velho foi o segundo mais suscetível aos poluentes do ar.

Maia e Gonçalves (2002) analisaram para o ano de 1999 em São Paulo - SP a influência meteorotrópica sobre doenças respiratórias. Para tanto, utilizaram 5 índices de conforto térmico humano, o ID (índice de Desconforto, baseado em T e UR), o TE (Temperatura Efetiva, baseado em T e UR), o TE_v (Temperatura Efetiva em função do Vento, combina T, UR e v), o H (*Windchill*, baseado em T e v) e o ID_K (Índice de Desconforto de Kawamura, baseado em T e T_d). Em relação as morbidades por doenças respiratórias apresentaram maior correlação (-0,54) com ID e TE_v. O mês de maio apresentou a maior frequência de morbidades, tendo aproximadamente 80% dos dias desconfortáveis por frio. Foi realizada uma classificação bioclimática através do TE_v, a qual mostrou que ao longo do ano 53% das morbidades estiveram relacionadas ao tempo frio, enquanto 29% por calor.

Braun (2003) estudou as influências meteorotrópicas na mortalidade por doenças cardiovasculares (MDCV) na cidade de São Paulo, em pessoas com idade igual ou superior a 65 anos, e as comparou à concentração de poluentes e às variáveis ambientais e ICTH. Encontrou uma variação sazonal significativa na frequência de mortes, com um considerável aumento no inverno e redução no verão. Quanto ao total de mortes, 55 % ocorreram com o sexo feminino. Verificou que a melhor correlação entre MDCV e variáveis meteorológicas ocorreram com atraso de 3 dias, enquanto para os poluentes a maior associação foi no mesmo dia. Numa situação pré-frontal, há um aumento na concentração de poluentes e na MDCV e quando aumentam a temperatura e a umidade ou sob influência de um sistema frontal, há uma diminuição nas mortes. Através do índice TE_v verificou que MDCV estão mais associadas à dias com estresse por frio.

Martins et al. (2004) avaliaram se os efeitos do PM₁₀ na mortalidade de idosos (60 anos ou mais) por complicações respiratórias na cidade de São Paulo nos anos de 1997 – 1999, sofreram influência das condições socioeconômicas. As quais foram analisadas através da porcentagem de pessoas com curso superior, idade, porcentagem de pessoas morando em favelas, e percentual de famílias com renda superior a US\$ 3500,00 (na época o Dólar e o Real eram economicamente equivalentes). Encontraram que existe uma correlação significativa negativa dos efeitos do PM₁₀ tanto com a renda familiar alta quanto com o percentual de pessoas com curso superior, já em relação ao percentual de pessoas morando em favelas, a correlação foi positiva. Concluindo, portanto que as condições socioeconômicas representam um fator modificador nos efeitos da relação entre a poluição do ar e as mortes em idosos por doenças respiratórias.

Gonçalves et al. (2005) estudaram os efeitos da poluição e dos parâmetros meteorológicos em doenças respiratórias em crianças (menores de 13 anos de idade) durante os verões de 1992/1993 e 1993/1994 na cidade de São Paulo. Para tanto compararam as admissões hospitalares às concentrações dos poluentes O₃, PM₁₀, SO₂, CO e NO₂ e às medidas de temperatura, vapor d'água e radiação solar, dados de reanálise e cartas da Marinha brasileira. Verificaram uma associação significativa positiva entre a morbidade em crianças e O₃ para o verão de 1992/1993. Enquanto para o verão de 1993/1994 houve uma associação mais complexa, mostrando uma relação mais forte com as variáveis meteorológicas, onde os sistemas pré-frontais (pós-frontais) com dias quentes (frios) e secos (úmidos) favoreceram a diminuição

(aumento) de morbidades respiratórias. Os autores, ainda, destacaram que as concentrações de PM₁₀ e CO, em São Paulo, SP, afetaram de forma consistente a saúde respiratória das crianças entre 0 – 5 anos de idade.

Gouveia et al. (2006) analisaram a associação de hospitalizações por causas respiratórias (em crianças e idosos) e cardiovasculares (em idosos) com a concentração de poluentes e com as variáveis meteorológicas na cidade de São Paulo entre mai/1996 até abr/2000. Entre outros resultados estatisticamente significativos, mostraram que um aumento de 10 µg/m³ no PM₁₀ esteve associado para as crianças a um aumento nas internações hospitalares de 2,4% em doenças respiratórias (DR), 2,1% em pneumonia e 4,6% em asma, enquanto para os idosos houve aumento de 2,2% em DR, 1,9% em pneumonia, 4,3% em doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e 1,5% em doença isquêmica do coração.

Nastos e Matzarakis (2006) estudaram a contribuição das variáveis meteorológicas para a variabilidade de infecções respiratórias (IR) em Atenas, Grécia. Verificaram que muitas variações no tempo levam a mudanças significativas em consultas por IR sendo que a temperatura (baixa) e umidade absoluta (e suas variações) foram extremamente influentes na variabilidade das consultas, embora a associação para o mesmo dia com consultas tenha sido mais fraca do que as suas influências 2 semanas antes, ventos fortes durante os três dias precedentes levam a um pico nos atendimentos. Destacam, também, que os índices biometeorológicos estudados explicam mais claramente o comportamento das consultas por IR do que as variáveis meteorológicas.

Valença et al. (2006) estudaram a sazonalidade nos atendimentos emergenciais por asma em Gama, Distrito Federal durante todo os anos de 1999 e 2000. Descobriram que mais da metade dos atendimentos foi de crianças de 0 – 4 anos). O maior número de consultas ocorreu entre os meses de janeiro a março, enquanto o menor número foi de julho a setembro, no entanto, foram significativas apenas nos meses de março, agosto e setembro, caracterizando uma sazonalidade. Verificaram-se correlações significativas positivas com asma e umidade relativa de 1 e 2 meses antes, enquanto para a temperatura média e precipitação a defasagem foi de 1 mês.

Coelho (2007) realizou uma análise estatística para criar um modelo preditivo de internações por complicações respiratórias para a cidade de São Paulo em função de concentração de poluentes e de variáveis meteorológicas juntamente com ICTH.

As doenças respiratórias foram agrupadas em AVAS (Afecções das Vias Aéreas Superiores), AVAL (Afecções das Vias Aéreas Inferiores) e IP (Influenza e Pneumonia), onde foi construído um modelo (preditivo) de regressão de Poisson para cada grupo em função das variáveis ambientais e ICTH. Para AVAS encontrou uma associação com CO e SO₂ para o mesmo dia (*lag* 0) e com TE_{V4} (tempo frio e úmido) com uma defasagem de 4 dias (*lag* 4), enquanto para AVAL a associação foi em “*lag* 0” com PM10 e O₃ e em “*lag* 3” com TE_{V4}, já IP esteve associado com PM10 (*lag* 0) e TE_{V4} (*lag* 3), onde os erros médios dos modelos foram, respectivamente, 15%, 30% e 44%.

Nedel (2008) estudou as condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de doenças respiratórias (crises de chiado) em crianças de 0 a 2 anos de idade para a cidade de São Paulo, onde as comparou com variáveis meteorológicas internas (temperatura e umidade relativa do ar) e externas, juntamente com o índice TE em ambos ambientes. Encontrou que a população da cidade de São Paulo sofre mais pelo frio do que pelo calor, com poucos dias confortáveis, sendo que no inverno há alto estresse por frio em manhãs frias e secas. Quanto aos sistemas atmosféricos, 48% das enfermidades analisadas estiveram associadas a massas de ar polar marítima, 41% a sistemas frontais, 3% a massas de ar polar continental e apenas 7% a sistemas pré-frontais. Verificou que houve um valor máximo para O₃, SO₂ e NO₂, um dia antes das consultas, enquanto para PM10, no mesmo dia, ainda que não tenham ultrapassado os respectivos padrões secundários de qualidade do ar.

Azevedo (2010) analisou a influência das variáveis ambientais nas doenças respiratórias (DR), em crianças e idosos, e cardiovasculares (DCV), em idosos, para a região metropolitana do Porto, Portugal, entre os anos de 2002 a 2005. Verificou que a população da região sofre mais riscos com sensações inferiores a 18°C, porém abaixo de 6°C houve uma diminuição de internações, possivelmente devido a ações comportamentais dos moradores locais, e que DCV isquêmicas e asma/bronquite sofrem um aumento acima de 30°C. Observou que a elevação da pressão atmosférica tende a acarretar um aumento da DCV hipertensivas. Encontrou uma associação positiva de Asma/Bronquite com sistemas pré-frontais e altas estacionárias em eventos ocorridos no verão de 2003/04 e com inversões térmicas no inverno 2004/05, ocasionando um aumento nas concentrações de PM10 e MP_{2,5}. Ainda encontrou associação entre os poluentes e as doenças cardiorrespiratórias mesmo que não tenha sido ultrapassado os padrões de qualidade do ar.

Jasinski et al. (2011) analisaram a relação entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias (internações hospitalares) para crianças e adolescentes da cidade de Cubatão, São Paulo, entre os anos de 1997 – 2004. Encontraram que aproximadamente 85% dos casos ocorreram na faixa etária de 0 - 5 anos, reforçando o fato desta faixa ser a mais suscetível a variações ambientais, destaca, ainda, que ao longo do período de estudo, apesar de ter havido uma redução nos níveis dos poluentes analisados, os mesmos mostraram um efeito relevante à saúde dos jovens. Encontrou uma correlação positiva entre as doenças respiratórias e PM10, tendo efeitos com defasagens de 2 a 4 dias a exposição e para O₃, no mesmo dia.

Lecha et al. (2013) começaram a validação, para o estado de Jalisco, México, do modelo de previsão biometeorológica “PronBiomet”. Os autores destacam que pelo fato de haver infraestrutura para elaborar prognósticos, manter o modelo e tendo pessoal qualificado, juntamente com médico especialistas, torna-se suficiente para desenvolver um projeto piloto que possa adequar e validar o modelo às condições específicas locais. Foi feita uma validação de sete dias, a qual mostrou que uma massa de ar continental vinda dos Estados Unidos provocou sensações moderada a forte de hiperoxia no nordeste mexicano, sujeitando a população local a efeitos meteorotrópicos significativos.

Petrou et al. (2015) procuraram estabelecer uma associação entre padrões atmosféricos distintos com a mortalidade diária induzida por calor nos verões (jun - set) de 1974 a 1999 em cinco regiões da Inglaterra. Foram analisadas as trajetórias das massas de ar associadas aos maiores episódios de calor, as quais foram produzidas através do modelo HYSPLIT. Encontraram que todas as regiões apresentaram um aumento médio estatisticamente significativo na mortalidade durante os episódios de calor. Onde houve uma prevalência nas circulações de oeste e leste-sudeste nas mortalidades em função do excessivo estresse por calor, nessas direções chegaram muitas massas de ar com relativa lentidão em seu movimento, associadas a uma estagnação atmosférica poderia provocar um aumento na mortalidade devido à baixa intensidade do vento.

Por fim, Lopes (2015) analisou a relação entre condições meteorológicas de inverno (2008 - 2013) e doenças respiratórias (DR), através de internações hospitalares, em crianças menores de 9 anos de idade em Pelotas, RS. As DR foram agrupadas entre IVAI (76% dos casos) com subgrupos de ASMA (45% dos casos) e INFEC (infecções – incluindo gripe, pneumonia, bronquite e bronquiolite – 55% dos

casos), enquanto o complemento de IVAI foi denominado como “outras” (24% dos casos). Verificou que dentre todos os invernos analisados, que o de 2011 apresentou a maior anomalia (negativa) de temperatura e a segunda maior de umidade relativa, coincidindo com o maior número de internações por DR para o período. Observou que o grupo INFEC parece modular as DR. Encontrou que 3 dias antes das internações por IVAI, geralmente, houve considerável inversão do vento passando do quadrante oeste para o leste. Um e dois dias antes, às 15:00 (local), aumentou a UR e a nebulosidade, diminuído a temperatura, com uma intensificação do vento às 21:00 (local). Enquanto no dia da internação, o destaque maior se dá ao aumento da velocidade do vento.

Portanto, observa-se que há muitas maneiras de se analisar a influência das condições meteorológicas nas complicações respiratórias e que dependendo do local, diferentes resultados podem ser encontrados, mostrando a importância de se conhecer a forma de adaptação de cada população às variações do tempo e do clima.

2.6 Fatores de confusão

Por outro lado, somado a variáveis pessoais, são muitos os fatores que provocam confusão na relação entre o tempo/clima e as doenças respiratórias, tais como: condições (doenças) pré-existentes, genética familiar, faixa etárias, nível sócio econômico, renda familiar, escolaridade dos pais, tabagismo, tipo e localização da residência, aglomeração de pessoas por cômodos/dormitórios, utilização de fogão à lenha, animais domésticos, higiene inadequada, circulação interna de ar, aquecimento interno, além de outras ações comportamentais como vestimentas e má nutrição (PRIETSCHE et al., 2002; MARTINS, 2003; COELHO, 2007; NEDEL, 2008; HONDULA et al., 2012).

Um dos problemas que afetam o registro de informações sobre grande parte das doenças, incluindo as do aparelho respiratório, é a automedicação, que pode mascarar o problema, retardando a procura ao atendimento médico, assim como levar a complicações maiores. Abegunde (2010) destaca que há uma utilização abusiva de antibióticos para o tratamento de infecções aguda das vias respiratórias em países de baixo e médio rendimento econômico. Holloway e Dijk (2011) salientam que o uso irracional através da mistura de medicamentos com antibióticos pode resultar em diversos riscos à saúde. Outro fato relevante é a má administração dos medicamentos,

que segundo a World Health Organization (WHO, 2003) estima-se que cerca de metade dos doentes não seguem corretamente o tratamento prescrito.

2.7 Métodos Estatísticos

A estatística basicamente refere-se a incertezas, portanto, devido ao comportamento indefinido da atmosfera, a sua utilização é difundida na meteorologia (WILKS, 2006). Entre as diferentes partes da estatística, a descritiva fornece diferentes maneiras de organizar os dados, através de tabelas e gráficos, e representá-los em termos de medidas de posição e dispersão. Outras técnicas, como as análises de correlação, de regressão linear e de componentes principais também são amplamente utilizadas. Estas ferramentas estatísticas são fundamentais em estudos de biometeorologia humana, logo esta pesquisa utilizou-se destas técnicas.

2.7.1 Quantis

São medidas de posição, que dividem uma distribuição ordenada de dados de uma determinada variável em partes iguais, estabelecendo subconjuntos de dados, cuja quantidade pode assumir diversos valores, porém os mais utilizados são o percentil e o quartil. Esta técnica é muito utilizada dentro da biometeorologia.

Os percentis consistem na divisão dos dados em 100 subconjuntos com a mesma quantidade de elementos entre si (1%), cujas simbologias são: P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_{100} , os quais são denominados, respectivamente, como *percentil 1*, *percentil 2*, *percentil 3*, ..., *percentil 100*.

Já os quartis dividem o conjunto de dados em quatro subconjuntos com a mesma quantidade de elementos entre si (25%), cujas simbologias são: Q_1 , Q_2 e Q_3 (*quartil 1*, *quartil 2* e *quartil 3*), os quais possuem, respectivamente, 25%, 50% e 75% dos dados a partir do menor valor (Figura 2).

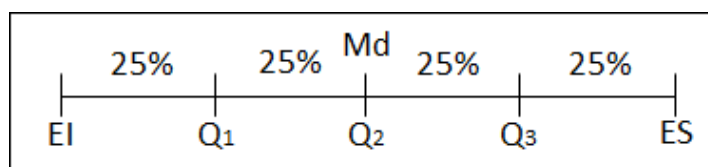


Figura 2 – Distribuição dos quartis.

onde:

El é o extremo inferior (menor valor da amostra).

ES é o extremo superior (maior valor da amostra).

Md (= Q₂) é a mediana da amostra.

Através destas medidas pode-se construir uma ferramenta muito útil para visualizar a dispersão dos dados conhecida por *diagrama de caixa (boxplot)*, onde mostra com bastante clareza a distribuição dos dados, simetria (ou assimetria) e outliers.

2.7.2 Análise de Correlação

Correlação é relação mutua entre duas variáveis, sendo a correlação linear a mais utilizada, pois esta mede o grau de linearidade entre duas variáveis, a qual costuma ser medida através do coeficiente de Pearson (r), exposto na equação 4:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

onde: x_i e y_i representam as coordenadas de cada ponto formado pelas variáveis x e y, sendo, respectivamente, \bar{x} e \bar{y} as suas médias.

onde:

$-1 \leq r < 0$, correlação linear negativa

$r = 0$, correlação nula

$0 < r \leq 1$, correlação linear positiva

$r = -1$, correlação linear negativa perfeita

$r = 1$, correlação linear positiva perfeita

O teste de significância utilizado é a estatística t (*Student*), cujo valor calculado (t_c) é obtido através da equação 5:

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5)$$

onde:

r é o coeficiente de correlação

n é número de pares (pontos) amostrais

Se $|t_c| > |t_{\text{crítico}}|$, rejeita-se a hipótese nula, o que denota significância na correlação entre as variáveis.

Sendo o valor do $t_{\text{crítico}}$ (“t crítico”) definido através da tabela do teste t, em termos do nível de significância desejado e o grau de liberdade ($n-2$) da amostra.

2.7.3 Regressão linear simples (RLS)

Em muitas situações dentro de uma pesquisa existe o objetivo de prever o valor de uma variável em termos de outra, isto é possível através de uma técnica estatística denominada *regressão simples*, que consiste em representar um conjunto de dados através de uma função matemática, a qual descreve o comportamento de uma variável (dependente ou resposta) em função de outra variável (independente ou preditora). Se os pontos formados por esta relação apresentam um comportamento (ou tendência) linear, a técnica adequada será uma *regressão linear simples*, porém uma distribuição real de dados (gráfico de dispersão) dificilmente terá tal relação exata, logo para cada valor da variável independente haverá, muitas vezes, uma diferença entre o valor observado e o valor estimado pela variável resposta, chamada de resíduo ou erro (ϵ) (Figura 3). Quando uma distribuição de dados é simplificada através de uma reta, conforme a equação 6, é necessário estabelecer um método para determinar os coeficientes linear (a) e angular (b). Para haver a menor perda possível nas relações dos dados originais, utiliza-se, entre outros, o “método dos mínimos quadrados”, o qual define os coeficientes da reta que propiciam a menor soma dos quadrados dos resíduos entre todas as retas possíveis.

$$\hat{y} = a + bx \quad (6)$$

onde:

\hat{y} é o valor estimado da variável dependente

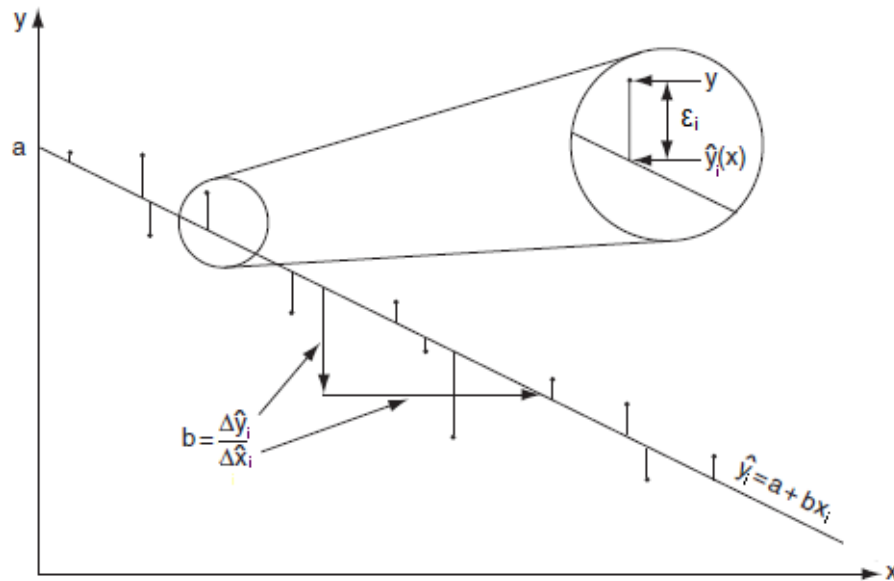


Figura 3 – Regressão linear simples e seus resíduos.

Fonte: Adaptado de Wilks, 2006.

Para cada ponto (x_i, y_i) a função de regressão linear é definida conforme a equação 7:

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (7)$$

onde:

\hat{y}_i é o valor estimado da variável dependente para cada valor x_i .

Porém há um erro ε_i entre os valores observado (y_i) e estimado (\hat{y}_i), que é calculado através da equação 8:

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i \quad (8)$$

Os coeficientes da regressão **a** e **b** são determinados conforme as equações 9 e 10:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (9)$$

e

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n} \quad (10)$$

sendo os valores de S_{xx} e S_{xy} definidos pelas equações 11 e 12:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x \right)^2 \quad (11)$$

e

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \quad (12)$$

2.7.4 Regressão linear múltipla (RLM)

A técnica de *regressão linear múltipla* consiste na criação de um modelo linear que descreva o comportamento de uma variável dependente em função de duas ou mais variáveis preditoras, logo difere da RLS por possuir mais de uma variável independente, portanto para descrever o modelo, deve ser obtido o valor dos coeficientes a, b_1, \dots, b_n correspondentes a equação 13, onde x_1, x_2, \dots, x_n representam as variáveis preditoras.

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n \quad (13)$$

A ideia matemática é a mesma da RLS, como o desenvolvimento das equações passa por diversas operações matriciais, devido à quantidade de variáveis preditoras, logo não serão demonstradas neste trabalho, no entanto pode ser visualizado em Wilks (2006).

É importante destacar, tanto para a RLS como para a RLM, que os sinais dos coeficientes angulares determinam o tipo de influência das variáveis preditoras no comportamento da variável dependente, onde um coeficiente positivo faz com que a variável independente acompanhe o comportamento da variável dependente (ou tenda a acompanhar, no caso da RLM), já um coeficiente negativo provoca o efeito contrário.

2.7.5 Análise de componentes principais (ACP)

Análise de componentes principais, possivelmente seja a técnica estatística multivariada mais utilizada nas ciências atmosféricas (WILKS, 2006), não sendo

diferente na biometeorologia humana. Esta técnica consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em componentes principais (CP's), que são análises combinatórias das variáveis iniciais, sendo independentes entre si, não correlacionadas. O número de CP's é o mesmo das variáveis que as formam, no entanto, as componentes são formadas em ordem decrescente pela variância dos dados, sendo que, geralmente, poucas CP's explicam a maior parte da variância das variáveis originais, portanto esta técnica traz a vantagem de reduzir o número de variáveis a serem utilizadas. Neste estudo as variáveis (ambientais) foram padronizadas, tornando-as adimensionais, devido às diferentes escalas e unidades.

A análise de componentes principais está estruturada em duas grandezas: os autovalores e autovetores, que são obtidos através dos dados originais, sendo que cada CP está associada a um par destas grandezas.

Os autovalores (λ) representam as variâncias associadas a cada componente principal (CP), ou seja, explicam a importância de cada CP na variação dos dados originais. A seguinte relação deve ser estabelecida:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n \quad (14)$$

sendo associados, respectivamente, a CP₁, CP₂, ..., CP_n.

Os autovetores formam a base canônica para as componentes principais e estão associados a cada autovalor. Portanto, o primeiro autovetor está na direção de maior variabilidade dos dados (seu sentido é arbitrário), sendo perpendicular ao segundo (que assume a segunda direção com maior variação). O cosseno do ângulo que formam com os eixos originais definem os pesos (e) das variáveis primitivas sobre cada CP, ou seja, os “pesos” são as coordenadas dos autovetores nas direções dos eixos originais. Como as CP's não são correlacionadas, os pesos para cada variável, geralmente, diferem entre as componentes.

A seguinte propriedade, equação 15, deve ser obedecida para os pesos correspondentes a i-ésima componente principal:

$$e_{1i}^2 + e_{2i}^2 + \dots + e_{ni}^2 = 1 \quad (15)$$

Através dos pesos em cada CP é possível determinar as variáveis mais influentes num determinado problema, sendo que quanto maior o peso, maior a influência.

As componentes principais (CP_i) na forma matricial são dadas pela equação 16:

$$CP_i = [E]^T \cdot [X'] \quad (16)$$

onde:

$[E]^T$ é a matriz transposta dos autovetores.

$[X']$ é a matriz das anomalias padronizadas das variáveis originais para cada observação.

Ao expandi-las, as CP's assumem a fórmula mostrada através da equação 17:

$$\begin{bmatrix} CP_1 \\ CP_2 \\ \vdots \\ CP_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{21} & \cdots & e_{n1} \\ e_{12} & e_{22} & \cdots & e_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{1n} & e_{2n} & \cdots & e_{in} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_i \end{bmatrix} \quad (17)$$

onde a fórmula analítica, equação 18, para a i-ésima CP é:

$$CP_i = w_{1i}x'_1 + w_{2i}x'_2 + \dots + w_{ni}x'_n, \quad 1 \leq i \leq n \quad (18)$$

Os valores das componentes principais para cada observação, são denominados *escores*, que definem, através dos eixos das CP's (em suas direções), o valor resultante da ação mútua das variáveis originais.

3 Materiais e Métodos

Esse estudo foi realizado na cidade de Canoas, RS, buscando avaliar (meteorologicamente) os problemas de saúde (doenças respiratórias) ocorridos na população infantil (0 a 5 anos) deste município.

Conforme Hondula et al. (2012), compreender como a combinação de variáveis ambientais conduzem a um aumento nas morbidades respiratórias é um problema desafiador, pois em um ambiente aberto há muitas variáveis ambientais interagindo com a população, a qual está sujeita a uma quantidade enorme de variáveis de cunho pessoal.

3.1 Área de estudo

Canoas, cuja localização é mostrada na figura 4, é o quarto município mais populoso do RS com população estimada para 2016 de 342.634 pessoas e uma área territorial de 131,634 km², totalmente urbana (IBGE, 2017). Economicamente, detém o segundo maior PIB do estado (PM CANOAS, 2017), atrás apenas de Porto Alegre (PoA). Possui muitas universidades e indústrias, além da sede do 5º Comando Aéreo Regional (COMAR V) e uma Base Aérea da FAB (Força Aérea Brasileira), destacam-se, também, a presença da refinaria Alberto Pasqualini e parte da BR 116 (trecho com a maior movimentação veicular do Estado). O município situa-se na latitude de 29°55'04"S e longitude de 51°11'01"W, 8 m acima do nível do mar, logo sofre a influência de diversos fenômenos meteorológicos, como frentes frias ao longo do ano. A classificação climática, segundo Köppen, é cfa (clima temperado úmido com Verão quente). Canoas foi a cidade piloto do programa Vigiar (Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Poluentes Atmosféricos), que tem por objetivo avaliar as

consequências da má qualidade do ar sobre a saúde da população, incluindo as crianças (PM CANOAS, 2008).



Figura 4 - Mapa do RS com a regiões de estudo (Canoas).

3.2 Dados de saúde

Os dados de saúde foram obtidos de formulários de consultas ambulatoriais (por problemas respiratórios de crianças de 0 a 5 anos) realizadas no período de janeiro de 2005 a setembro de 2008, a partir de Unidades Básicas de Saúde (unidades sentinelas). A utilização dos dados de consultas é mais interessante que dados de internações ou óbitos, pois representam a primeira resposta clínica das doenças, sendo, portanto, antecedentes às internações (que não ocorrem na maioria dos casos), podendo desta forma trazer uma relação mais exata entre as variáveis ambientais e de saúde. O banco de dados de consultas está vinculado ao Centro Estadual de Vigilância em Saúde, da Secretaria Estadual de Saúde do Rio Grande do Sul (CEVS/SES), portanto, alicerçada em uma base de dados confiáveis. Os registros de saúde contemplam várias informações das quais foram extraídas a data de cada consulta com o respectivo sexo do paciente, idade e código da consulta. As doenças foram agrupadas conforme “Manual de Instruções – Unidade Sentinela” emitido pelo programa Vigiar, órgão vinculado ao Ministério da Saúde. No referido manual, as consultas são registradas sob os grupos Asma, Bronquite ou IRA, de acordo com a

Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde - Décima Revisão (CID-10) (Tabela 4). Em virtude de asma e bronquite serem relativamente difíceis de diferenciar, principalmente, em casos onde o médico não conhece o histórico do paciente, ambas foram agrupadas em “Asma”. Portanto essa pesquisa compreendeu três grupos de problemas respiratórios: Asma, IRA e Asma/IRA, onde o último representa o grupo que engloba Asma e IRA conjuntamente. Cerca de 5,5% das consultas foram registradas sob o CID J98 (Outros transtornos respiratórios), mas foram consideradas no grupo Asma/IRA, pois estavam atribuídas ao sintoma de broncoespasmo e cerca de 2,5% das consultas continham apenas o sintoma tosse, sendo alocadas no grupo IRA, tendo em vista que na maioria dos casos de consultas ambulatoriais este sintoma está vinculado à gripe¹.

Tabela 4 - Agrupamento das doenças em estudo - Vigiar/RS.

CID10	Doença/Grupo (Vigiar)	Grupo de estudo	
Asma (J45)		Asma	Asma/IRA
J45	Asma		
Bronquite (CID 10 - J20; J40; J41; J42)			
J20	Bronquite aguda		
J40	Bronquite não especificada como aguda ou crônica		
J41	Bronquite crônica simples e a mucopurulenta		
J42	Bronquite crônica não especificada		
Infecção Resp. Aguda (CID 10 - J10 a J19; J21; J22)		IRA	
J10	Influenza devida a outro vírus da influenza [gripe] identificado		
J11	Influenza (gripe) devida a vírus não identificado		
J12	Pneumonia viral não classificada em outra parte		
J13	Pneumonia devida a Streptococcus pneumoniae		
J14	Pneumonia devida a Haemophilus influenzae		
J15	Pneumonia bacteriana não classificada em outra parte		
J16	Pneumonia devida a outros microorganismos infecciosos especificados não classificados em outra parte		
J17	Pneumonia em doenças classificadas em outra parte		
J18	Pneumonia por microorganismo não especificada		
J21	Bronquiolite aguda		
J22	Infec. agudas não especificada das vias aéreas inferiores		

Fonte: Adaptado de Datasus (2008).

¹ Orientação da Médica pneumologista infantil, Juliana Schmitt Seibert, CRM-RS 35958 / RQE 28920

3.3 Dados meteorológicos

Na análise do comportamento das variáveis ambientais foram utilizados dados meteorológicos diários (12Z e 18Z) de temperatura do ar (T , $^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (UR , %), pressão atmosférica (P , em hPa), nebulosidade (N , em décimos) e direção ($DirV$, $^{\circ}$) e velocidade do vento (V , m/s), medidos, ao nível da estação meteorológica convencional do INMET da cidade de Porto Alegre (distante, aproximadamente, 18 km de Canoas), disponibilizados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para compreensão dos sistemas sinóticos associados ao aumento de problemas respiratórios foram utilizados dados de Reanálise II do NCEP/NOAA (National Center for Environment Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration) com resolução de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, através dos campos de temperatura do ar e de linhas de corrente, em 925 hPa.

As trajetórias das massas de ar causadora de "tempos adversos" foram determinadas através do modelo Hysplit (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) do ARL/NOAA (Air Resources Laboratory/National Center for Environment Prediction), versão 4 (DRAXLER; HESS, 1998), utilizando 4 horários diários (00Z, 06Z, 12Z e 18Z).

3.4 Dados de poluição

Como a região de Canoas possui uma grande quantidade de fontes de poluentes do ar, tanto móveis (principalmente, veículos automotores) quanto fixas (principalmente, indústrias, com destaque à refinaria Alberto Pasqualini), as doenças respiratórias foram observadas em termos das concentrações dos poluentes monóxido de carbono (CO) e material particulado menor ou igual a 10 micrometros (PM₁₀), obtidos junto à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), cujos padrões de qualidade do ar, conforme a resolução CONAMA nº 03 de 1990, estão descritos na tabela 5.

Tabela 5 – Padrões nacionais de qualidade do ar.

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Método de medição
MP	24 horas*	150	150	Separação inercial/Filtração
	MAA**	50	50	
SO ₂	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MAA**	80	40	
NO ₂	1 hora	320	190	Quimiluminescência
	MAA**	100	100	
CO	1 hora*	40000 (35 ppm)	40000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	10000 (9 ppm)	10000 (9 ppm)	
O ₃	1 hora*	160	160	Quimiluminescência

*Não deve ser excedida mais de uma vez ao ano. **Média aritmética anual.

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2016.

O banco de dados dos poluentes foi extraído das estações automáticas de monitoramento de qualidade do ar, das quais as concentrações dos poluentes são fornecidas como médias horárias. Foram analisadas as duas estações de Canoas: estação PU (Parque Universitário) e estação V COMAR (Quinto Comando Áereo Regional), bem como a estação Esteio, única deste município (Figura 5).

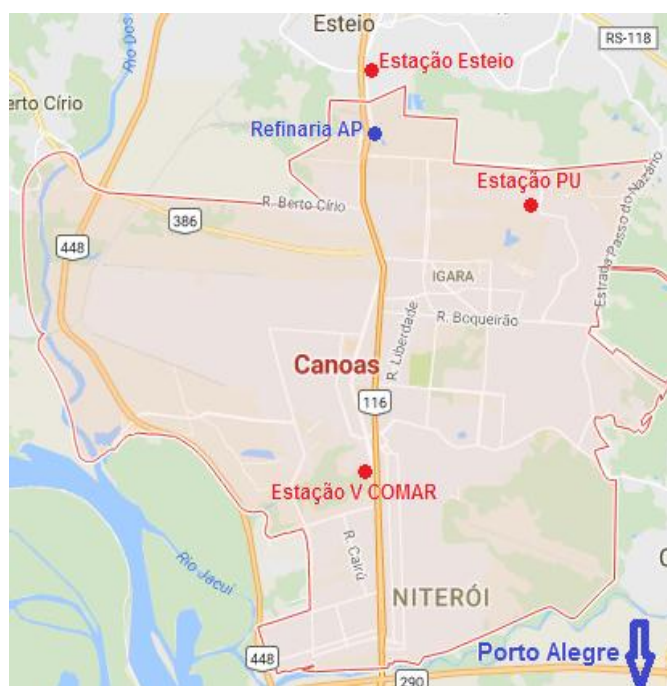


Figura 5 - Mapa de Canoas com as estações de monitoramento da qualidade do ar pela FEPAM.

A fim de se obter as médias diárias, utilizou-se o critério adotado por Coelho (2007), no qual foram considerados apenas os dias onde se registrou ao menos 20 medições horárias (os demais foram excluídos). A autora considerou as estações com no mínimo 90% dos dias válidos. A estação V COMAR não atendeu ao critério estabelecido para esta pesquisa, logo suas medições foram descartadas.

A estação utilizada para o CO (medições entre 2005 e 2007) foi a Parque Universitário, a qual apresentou 90% dos dias dentro do critério citado e para o PM10 utilizou-se a estação Esteio, na qual 80% dos dias obedeceram ao critério de Coelho (2007), no entanto os períodos excluídos ficaram bem definidos, em épocas com maior facilidade na dispersão dos poluentes, reduzindo, consideravelmente, o prejuízo na análise dos mesmos. Quanto a localização, Esteio (menor município do RS com 27,5 km²) é um município limítrofe de Canoas, cuja estação está a 8 km do centro desta e a 4 km da refinaria Alberto Pasqualini.

3.5 Estrutura de defasagem (*Lag*)

A relação entre as complicações respiratórias e variáveis ambientais é extremamente complicada, pois além da interação complexa entre elas, há o fato de a resposta fisiológica poder ser atrasada em alguns dias em relação ao fator desencadeador (HONDULA et al., 2012). Esta defasagem de tempo entre a resposta (consulta) e o fator que a originou será denominada de “*lag*” (atraso). Em virtude dos *lag*'s não serem conhecidos a priori os mesmos são supostos em alguns dias para cada evento e verificados.

Lopes (2015) encontrou associações significativas entre doenças respiratórias e variáveis meteorológicas entre 0 e 3 dias anteriores as internações, ou seja, *lag* 0 (sem atraso) e os demais, com atraso. O mesmo concluiu Azevedo (2010), ao estudar a relação entre variáveis ambientais e doenças cardiovasculares e respiratórias.

Portanto, nesta pesquisa as consultas por doenças respiratórias foram relacionadas às variáveis ambientais e ICTH em *lag* 3, *lag* 2, *lag* 1 e *lag* 0, os quais podem ser reescritos, respectivamente, como *lag* de 3 dias, *lag* de 2 dias, *lag* de 1 dia e *lag* zero, significando atraso de 3 dias, 2 dias, 1 dia e sem atraso, respectivamente.

3.6 Metodologia

A relação tempo/clima X saúde (variáveis meteorológicas/concentração de poluentes atmosféricos X consultas ambulatoriais em crianças por doenças respiratórias) foi observada para a cidade de Canoas, RS, inicialmente através de uma análise descritiva das consultas e das variáveis ambientais. Em seguida foram calculados os coeficientes de correlações lineares entre cada variável e a frequência diária de consultas através do software SPSS Statistics (versão 23). Seguindo por uma classificação das consultas em função do ICTH. Posteriormente foram realizadas as análises de componentes principais através do software R (versão 3.2.2), juntamente com a construção de modelos lineares (regressão linear simples e múltipla), a fim de compreender quais são as variáveis ambientais mais influentes no aumento das quantidades diárias de consultas por problemas respiratórios durante todo o período estudado e em partes deste. Para finalizar foi realizado um estudo de caso, com auxílio de campos de reanálise e trajetórias de massas de ar, com a finalidade de comprovar e reforçar os resultados encontrados.

4 Resultados e Discussões

Os três grupos de doenças estudados (Asma, IRA e Asma/IRA) foram, inicialmente, analisados descritivamente da mesma forma, salvo exceções onde não foi necessário observar o grupo conjunto ou os grupos individuais.

4.1 Análise Descritiva

Objetivando uma ampla compreensão da relação entre as variáveis ambientais e a ocorrência de doenças respiratórias em crianças foi realizada inicialmente uma análise do comportamento dos dados de saúde e ambiental. A tabela 6 mostra o total de consultas para cada grupo de doenças, juntamente com a sua média, desvio padrão e coeficiente de variação, sendo destacável a prevalência da ocorrência de Asma em relação à IRA, com cerca de 70% do total de das consultas. Já IRA apresentou maior coeficiente de variação (CV), ou seja, maior variabilidade em relação à média, enquanto o Asma teve um CV próximo ao grupo conjunto, Asma/IRA. A média do grupo IRA foi de 4,2 consultas diárias, enquanto a do Asma foi de 8,9 e Asma/IRA de 12, logo a proporção entre a média de IRA e a média do grupo conjugado é maior do que a proporção das consultas entre esses grupos, isso ocorre porque houve menos dias, dentro do período estudado, com atendimentos por IRA em relação ao grupo Asma

Tabela 6 – Medidas descritivas das consultas diárias.

Medida	Asma/IRA	Asma	IRA
Total de consulta	10777	7741	3036
Média*	12	8,9	4,2
Desvio padrão*	8,7	6,3	3,6
Coeficiente de variação*	0,73	0,71	0,86

* considerando apenas dias com consultas

Em virtude dos postos de atendimento das unidades de saúde habitualmente não funcionarem aos fins de semana, era de se esperar uma supremacia de ocorrência de atendimentos nas segundas-feiras, no entanto, como mostra a figura 6, esta suspeita não se verificou, pois, as terças-feiras representaram os dias da semana mais procurados para atendimento, tanto para Asma como IRA, já as sextas-feiras tiveram a menor procura para ambos.

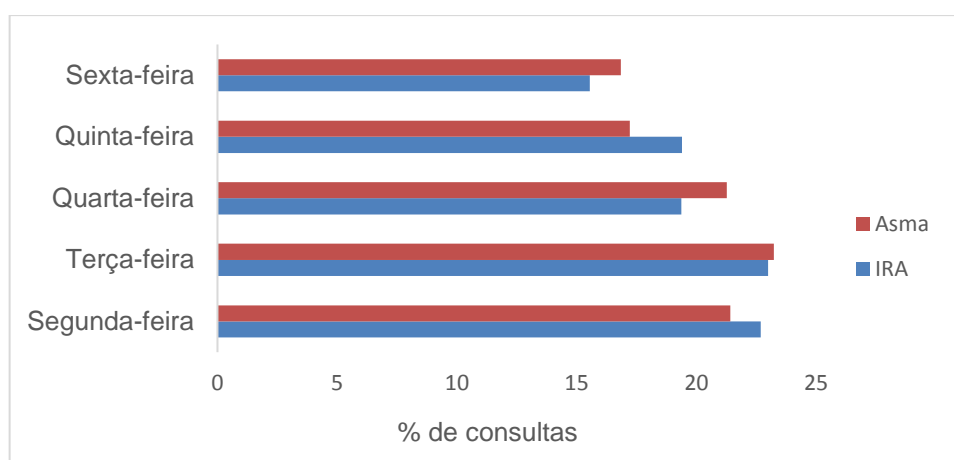


Figura 6 – Distribuição das consultas diárias ao longo dos dias da semana.

A figura 7 mostra o percentual incidente de cada grupo de doença em virtude do sexo da criança, sendo observado que tanto para Asma como para IRA houve uma prevalência do sexo masculino, com uma diferença de 8 e 6%, respectivamente. Este resultado concorda com coelho (2007) e Lopes (2015). Comparando estes percentuais com os valores mostrados na tabela 4 verifica-se que tanto os meninos quanto as meninas sofrem mais por Asma.

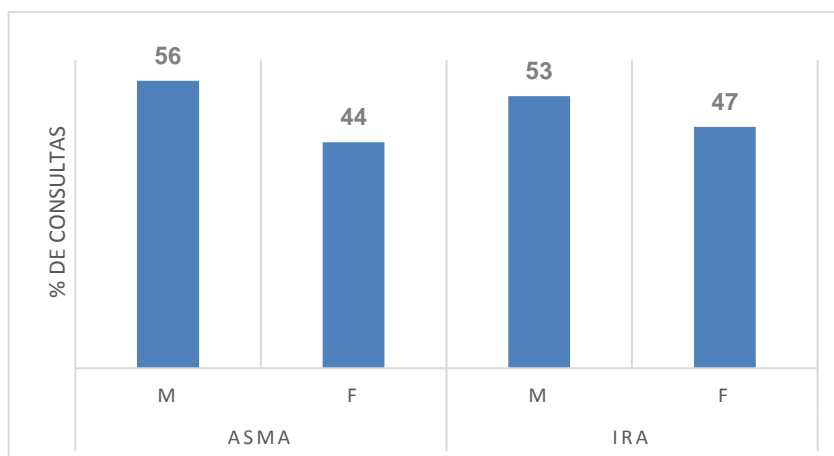
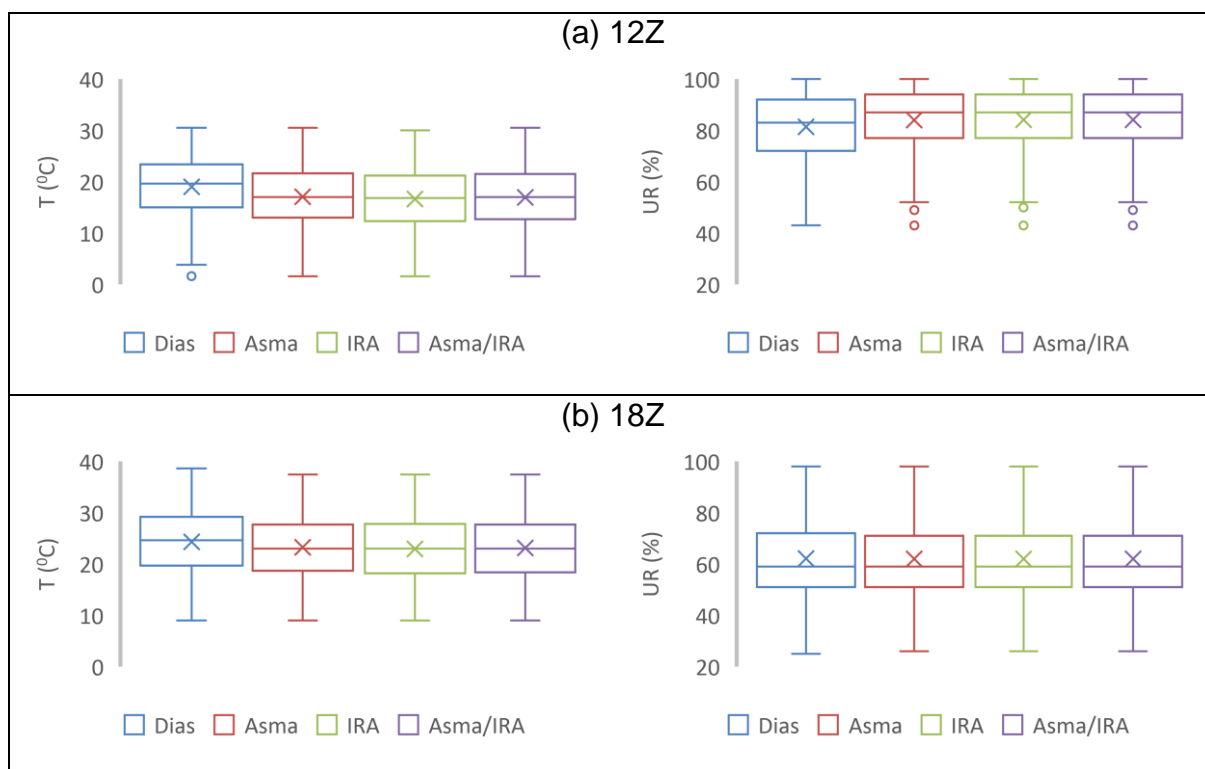


Figura 7 – Percentual de consultas por sexo em cada grupo de doenças.

A figura 8 mostra, através de *boxplots*, como estão distribuídas a temperatura e umidade do ar, às 12 e 18Z, ao longo dos dias do período estudado e através das consultas (as quais foram representadas pelos valores das variáveis nos dias de suas ocorrências) para cada grupo de doenças. Na figura 9a, percebe-se que a distribuição da temperatura pela manhã apresentou para cada grupo, a mediana inferior à dos dias e muito próximas das suas médias, já a umidade relativa mostrou para as doenças em relação aos dias, medianas mais elevadas, sendo maiores que suas médias, e os valores superiores foram mais concentrados em torno da mediana. A figura 9b apresenta as mesmas distribuições, porém às 18Z, à tarde, onde é perceptível, para a temperatura, uma aproximação, em relação ao observado nas manhãs, entre as medianas das doenças e dos dias, já a umidade relativa apresentou para as doenças, distribuições muito próximas a dos dias, sendo todas as medianas inferiores às médias. A diferença entre as medianas das consultas e dos dias para as temperaturas e umidades relativas foram, respectivamente, de 2,6°C e 4% pela manhã e 1,6°C e zero pela tarde. Portanto, as doenças respiratórias estiveram mais associadas às manhãs mais frias e úmidas (principalmente) e tardes mais frias que o padrão (normal) para o período.



“x” representa cada média.

Figura 8 – Distribuição de todos os dias e consultas em termos da temperatura do ar e da umidade relativa do ar para às 12Z (a) e 18Z (b).

4.1.1 Séries temporal mensal das variáveis meteorológicas e consultas ambulatoriais

Com o intuito de observar (e compreender) o comportamento das complicações respiratórias ao longo do tempo, foram plotadas as séries temporais mensal de cada grupo de doenças em comparação com cada variável meteorológica às 12Z (horário mais significativo, conforme figura 8).

A figura 9 mostra a frequência mensal de consultas por Asma, temperatura média mensal do ar e umidade relativa média mensal, às 12Z, durante todo o período estudado. Pode-se observar uma tendência oscilatória nas três variáveis, onde o aumento das consultas coincide (em grande parte da série) com a diminuição da temperatura e elevação da umidade relativa, caracterizando uma certa sazonalidade na quantidade mensal de atendimentos, apesar dos aumentos e diminuições das consultas não mostrarem a mesma relação com os comportamentos da temperatura e da umidade relativa de um ano para outro. Os meses com mais destaque estiveram entre o outono e o inverno, com ênfase ao julho de 2005, o qual apresentou a maior ocorrência de atendimentos em toda a série, com 546 consultas, tendo praticamente

o dobro que os outros dois meses mais recorrentes do mesmo ano, maio e julho. Tal supremacia talvez se explique pela queda de 4°C entre as temperaturas médias de junho e julho, o que não aconteceu nos outros anos, no entanto esta condição será verificada na sequência (através do comportamento diário destas dessas variáveis). Enquanto no ano de 2006, os maiores registros foram entre abril e junho (295 a 348 consultas mensais). Este ano foi o que apresentou menor variação no número de atendimentos entre os meses. Já em 2007, os meses de maio e junho foram os que registraram as maiores quantidades de atendimento, com 291 e 296 consultas, respectivamente. Por fim, em 2008 a maior procura por atendimento ocorreu entre os meses de junho e agosto (205 a 235 consultas mensais). Os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), período mais quente e seco, para todos os anos, mostraram-se menos representativos para a ocorrência das consultas, onde os atendimentos mensais variaram entre 7 e 85, exceto dez/2006, com 160 consultas. Portanto, o número de atendimento mensal por Asma foi mais elevado em períodos mais úmidos e frios.

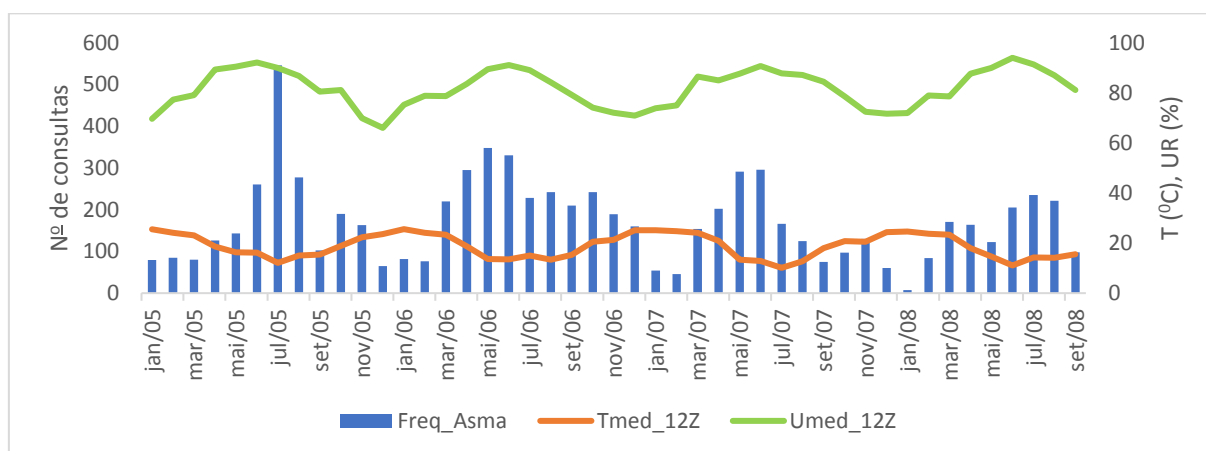


Figura 9 – Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por Asma, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008.

A figura 10 mostra o comportamento das mesmas variáveis que a figura anterior, porém para o grupo IRA. Também se verifica uma mesma tendência oscilatória para o grupo IRA, conforme ocorreu com Asma, mas com menor notoriedade. Os aumentos e diminuições da frequência mensal de consultas também apresentou diferentes relações, entre os anos, com o comportamento das variáveis meteorológicas. Destaca-se o ano de 2005, principalmente no mês de julho (assim como ocorreu com o grupo Asma). Os meses com maior ocorrência de doenças,

também, estiveram entre o outono e inverno, no entanto o mês de outubro/2006 esteve entre os mais relevantes para este ano. Para 2006 destacaram-se os meses de junho, julho e outubro, enquanto 2007 foi entre os meses de maio a agosto e em 2008, junho e julho. Portanto, a frequência mensal de atendimentos por IRA, aumentou em períodos frios e úmidos, diminuindo em situações opostas.

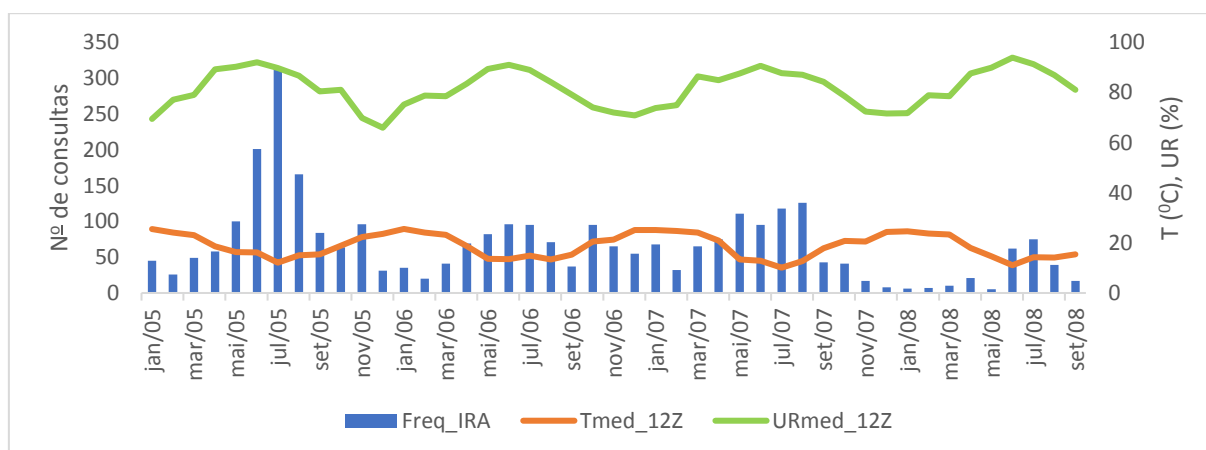


Figura 10 – Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008.

O comportamento temporal mensal, simultâneo, da frequência de consultas, referente ao grupo Asma/IRA, e das variáveis temperatura e umidade relativa do ar médias mensais estão descritos na figura 11. Conforme mostrado na tabela 4, 70% das consultas deste grupo são representadas pelo grupo Asma, provavelmente este fato, somado às semelhanças entre IRA e Asma, tenha provocado uma variabilidade muito semelhante com o grupo Asma.

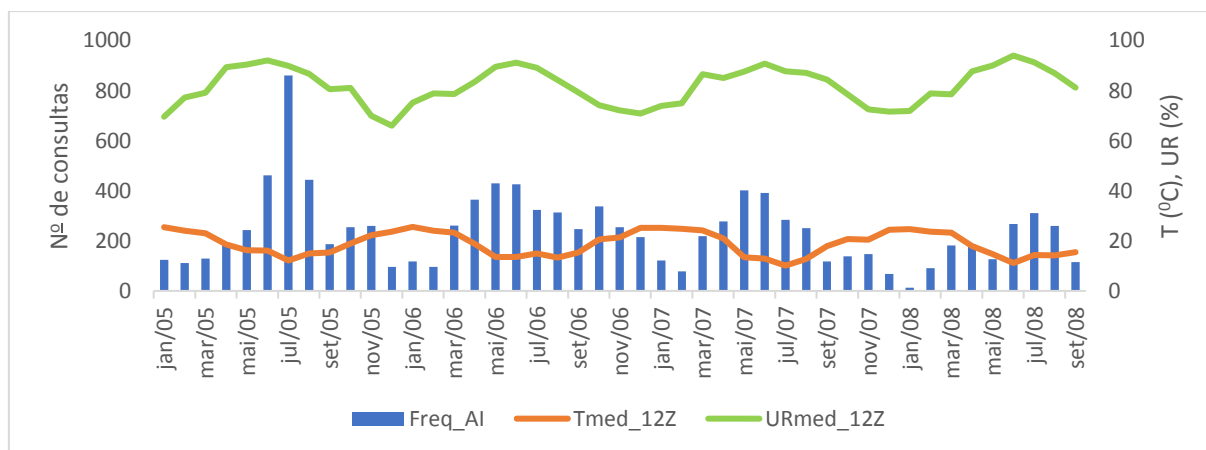


Figura 11 – Variabilidade mensal da temperatura média mensal do ar, umidade relativa média mensal do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008.

A figura 12 mostra a série temporal mensal para a frequência de consultas (/10, dividida por 10 para uma melhor visualização), temperatura e umidade do ar médias, às 12Z, para Asma (a), IRA (b) e Asma/IRA (c), nota-se para todos os grupos uma tendência oscilatória das três variáveis, onde o aumento das consultas coincide (em grande parte) com o aumento da pressão e diminuição do ICTH, sendo que os menores valores de pressão e os maiores de ICTH ocorrem no verão e o oposto se verifica entre os meses de maio a setembro, dependendo do ano. Os comportamentos médios do ICTH (mesma fase) e da pressão atmosférica do ar (fase oposta) acompanham o da temperatura do ar (tendo coeficientes de correlações superiores a 0,9, em módulo (valores não mostrados neste trabalho), para todos os grupos de doenças), porém a temperatura mostrou uma variação mais suave (senoidal). É destacável que a maior pressão atmosférica mensal média da série ocorreu em julho de 2005, mês que apresentou a maior quantidade de consultas tanto por Asma como por IRA.

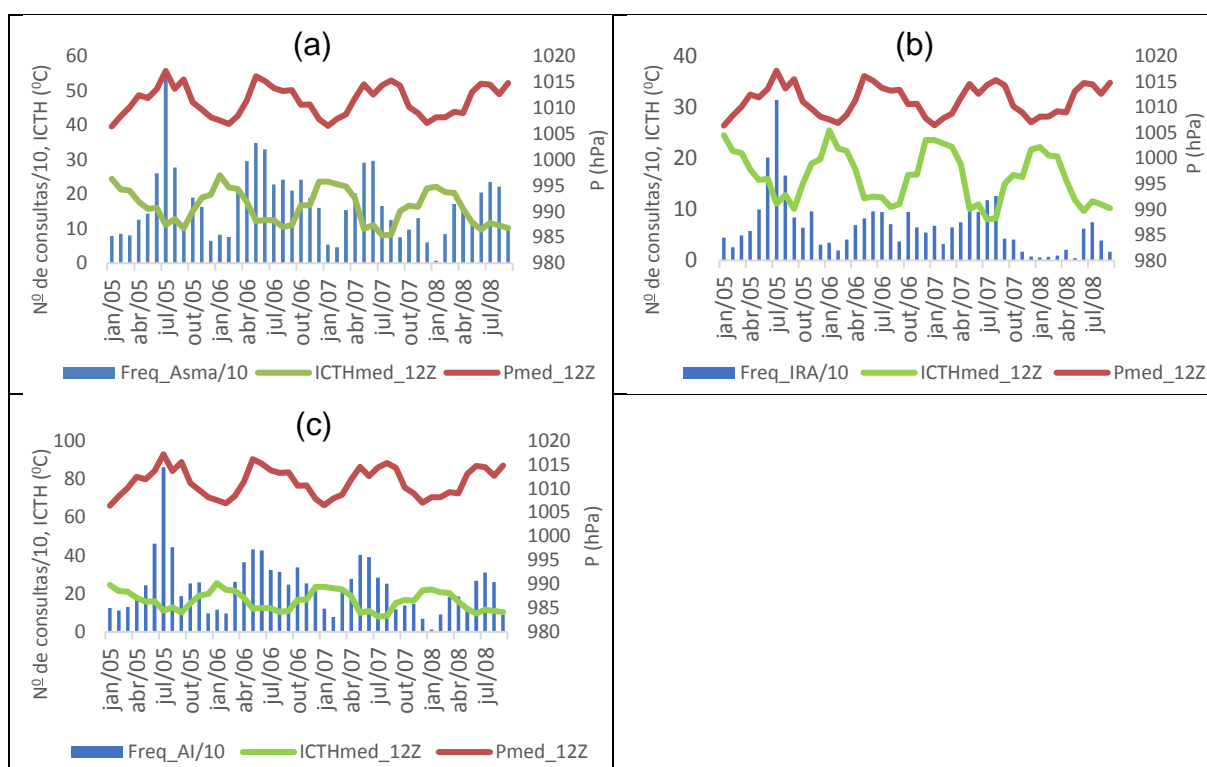


Figura 12 - Variabilidade mensal do índice de conforto térmico humano médio, pressão atmosférica média e da frequência de consultas (dividida por 10), às 12Z, entre jan/2005 a set/2008, para o grupo Asma (a), IRA (b) e Asma/IRA (c).

4.1.2 Séries temporal diária das variáveis meteorológicas e consultas ambulatoriais

Anteriormente analisou-se o comportamento médio mensal de alguns parâmetros meteorológicos, comparando-os à frequência mensal das consultas por problemas respiratórios, onde se percebeu um comportamento sazonal tanto das variáveis ambientais como das variáveis de saúde. Para se ter uma maior compreensão do aumento das consultas em termos do comportamento das variáveis meteorológicas, realizou-se agora uma análise da variabilidade diária das consultas e das variáveis meteorológicas. Onde apenas o grupo Asma/IRA foi observado, pois foi o que apresentou os maiores coeficientes de correlação com as variáveis meteorológicas, conforme item 4.3, onde também mostrou que a velocidade do vento e a nebulosidade parecem ter pouca influência nas complicações respiratórias, bem como o horário das 18Z, o qual se mostrou menos significativo que o das 12Z. Considerando também os resultados encontrados no item 4.1.1, onde observou-se, graficamente, que a pressão atmosférica e o ICTH estiveram altamente correlacionados com a temperatura do ar, optou-se analisar a associação do grupo Asma/IRA com o comportamento da temperatura e da umidade relativa, às 12Z.

As variáveis meteorológicas foram comparadas as suas médias diárias, no mesmo horário e período, as quais foram simbolizadas por MedT_12Z e MedUR_12Z, cujos valores são, respectivamente, 18,8°C e 82%, o mesmo foi realizado com o grupo de doenças Asma/IRA, onde a média das consultas diárias foi simbolizadas por MedFreq_AI, cujo valor foi de 12 consultas por dia, considerando apenas as datas com atendimentos.

Inicialmente, foi mostrado, através da figura 13, as séries temporal diária das consultas por Asma/IRA e das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, às 12Z, para o período de janeiro de 2005 a setembro de 2008. Onde percebe-se muitas variações na ocorrência de consultas, havendo, inclusive consideráveis alterações entre os mesmos meses em anos diferentes. Também, é possível notar a grande variabilidade da temperatura e da umidade relativa.

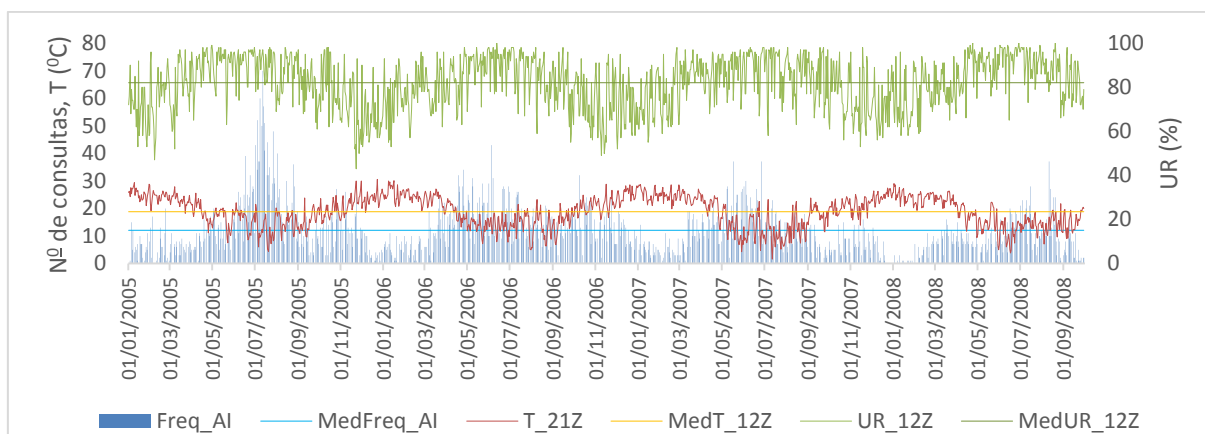


Figura 13 - Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, entre jan/2005 a set/2008.

Para se ter uma melhor compreensão das mudanças no tempo atribuídas ao aumento nas consultas por Asma/IRA, os anos foram analisados separadamente, começando pelo ano 2005 (Figura 14). As frequências diárias das consultas tiveram as primeiras elevações mais destacadas em fevereiro, com 17 e 20 consultas, as quais tiveram valores aproximados em maio e superados em junho. Já julho foi o que apresentou mais dias com grandes ocorrências de consultas. Os meses de agosto e outubro tiveram elevações semelhantes ao mês de junho. A primeira elevação citada em fevereiro está relacionada a uma queda (dois dias antes) de 9°C e uma elevação (três dias antes) de 32% na UR, situação semelhante também foi verificada no início de novembro. Já o mês de julho, o qual abrangeu a maior ocorrência diária para todo o período estudado, com 70 atendimentos, teve duas grandes quedas na temperatura e uma manutenção da UR elevada e acima da média, com pouca variabilidade. Este comportamento pode ser a justificativa da alta quantidade de consultas deste mês.

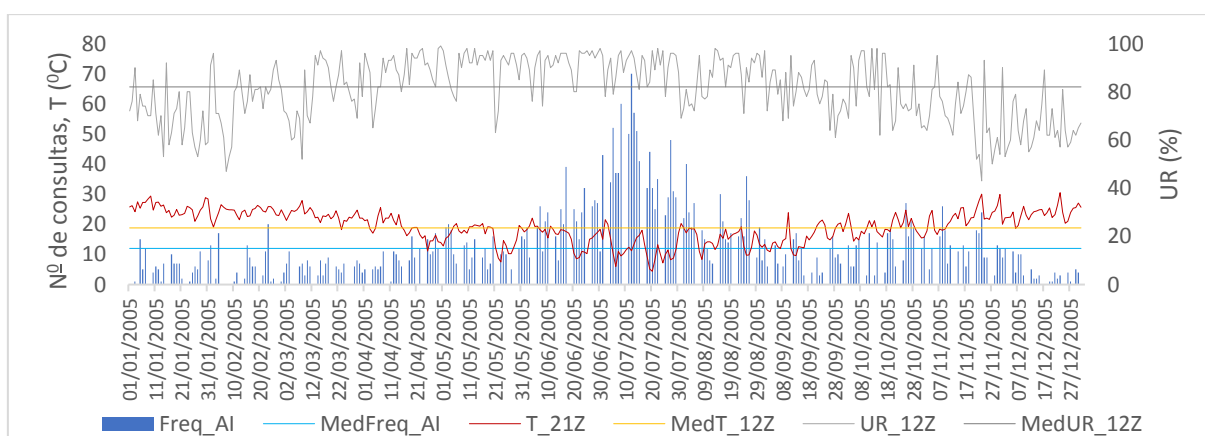


Figura 14 - Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2005.

A figura 15 mostra a distribuição para o ano de 2006, onde é notório a grande quantidade de dias (52%) com consultas acima da média, desde de março até dezembro. Entre as maiores ocorrências destacam-se os meses de abril a julho com várias elevações acentuadas, neste período a temperatura manteve-se abaixo da média e a umidade relativa, geralmente, acima da média. O grande aumento na quantidade diária de consultas em abril coincidiu com a diminuição da temperatura, atingindo valores abaixo da média. Várias datas mostraram que o número de atendimentos esteve associado a situações onde a temperatura caiu e a umidade relativa aumentou, incluindo a data de 05 de junho, dia em que houve 43 atendimentos, a maior procura no ano.

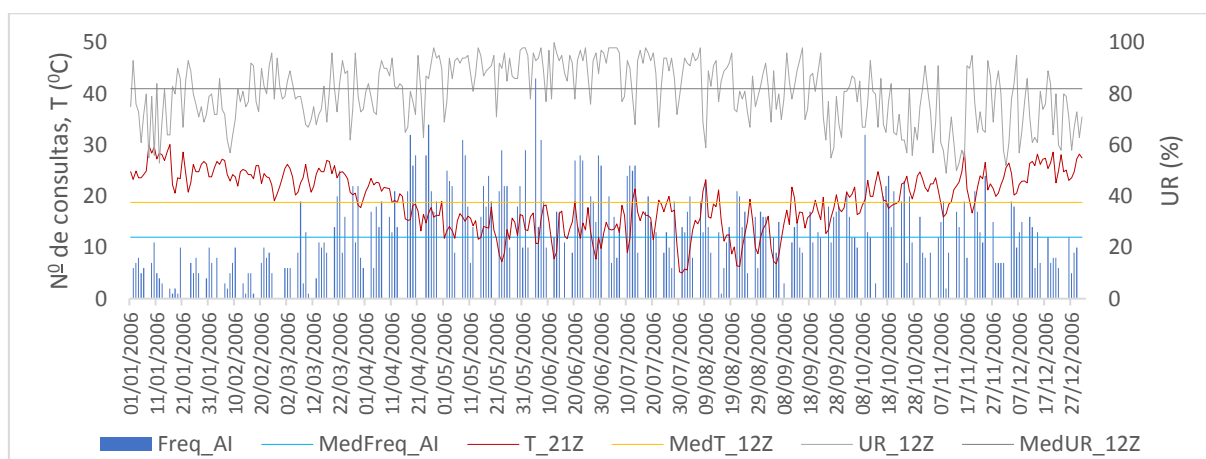


Figura 15 - Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2006.

A série temporal do ano de 2007 para o grupo Asma/IRA é apresentada na figura 16, onde é notória uma concentração das maiores ocorrências diárias de consultas entra a segunda quinzena de março e o final do mês de agosto, com maior destaque aos meses de maio e junho. A primeira grande elevação da frequência diária de atendimento, 08/05 (27 consultas), esteve associada a uma queda de 10°C, dois dias antes, e pela manutenção da umidade relativa acima da média, coincidindo com o início do período onde a temperatura esteve predominantemente abaixo da média. Os dias 19/05 e 26/06 foram os que tiveram maior procura por atendimento, 37 consultas cada, onde o primeiro foi precedido pelas manutenções da temperatura abaixo da média e da umidade relativa acima da média, enquanto o segundo esteve associado a uma queda de 18°C na temperatura do ar, dois dias antes, e uma elevação de 25% na umidade relativa, um dia antes.

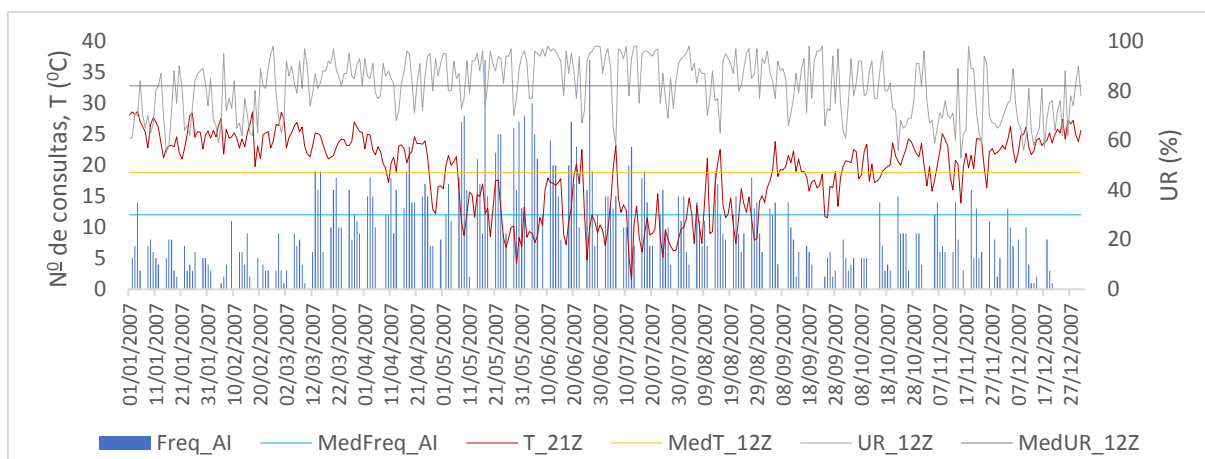


Figura 16 - Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2007.

A série temporal para o ano de 2008 está descrita na figura 17, na qual é possível observar que as primeiras elevações mais acentuadas (ultrapassando a média) no número diário de atendimentos ocorreram na metade de março e no início de abril, períodos nos quais a temperatura esteve acima da média. Os dias com as maiores ocorrências estiveram entre a segunda quinzena de junho e a primeira de julho e no segundo decêndio de agosto, estando associados, em sua maioria, a temperaturas abaixo da média e umidade relativa acima da média, incluindo o dia com maior número de atendimentos do ano, 11/08, com 37 consultas. Já o segundo dia com maior registro de consultas (28 atendimentos) foi precedido em dois dias, por uma elevação de 18% na umidade relativa (chegando a 91%) e pela manutenção da temperatura abaixo da média.

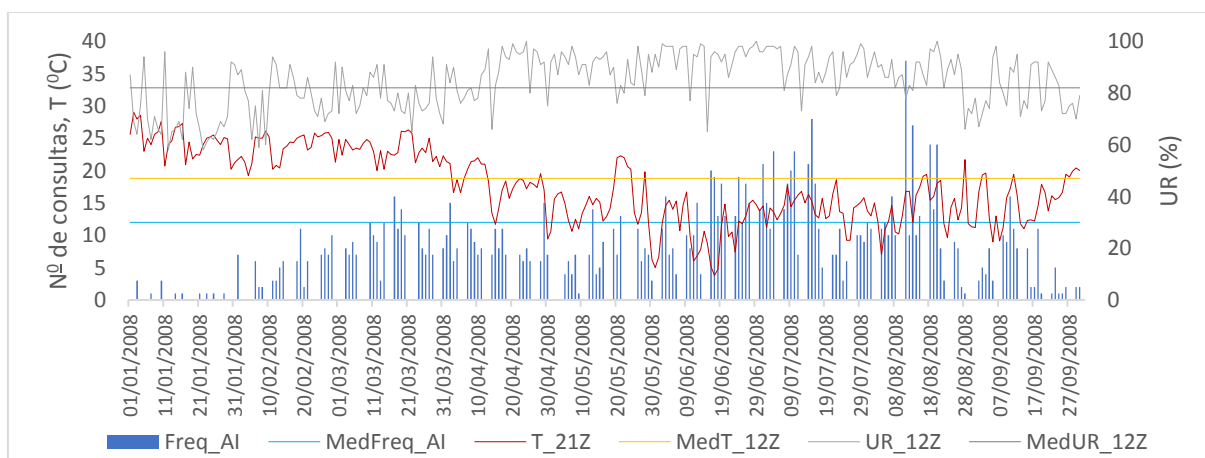


Figura 17 - Variabilidade diária da temperatura do ar, umidade relativa do ar e da frequência de consultas por Asma/IRA, às 12Z, durante o ano de 2008.

Conforme observado nessa seção, não há uma associação clara entre o aumento no número de atendimentos ambulatoriais por complicações respiratórias e o comportamento das variáveis meteorológicas temperatura do ar e umidade relativa. No entanto em muitos casos as maiores procuras por atendimento estiveram associadas à queda da temperatura e/ou a sua manutenção abaixo da média, juntamente com a elevação da umidade relativa e/ou a sua manutenção acima da média.

4.2 – Análise de Correlações

No sentido de compreender, com mais clareza, as variáveis mais influentes sobre as consultas por doenças respiratórias, realizou-se uma análise de correlação entre as frequências de consultas diárias e cada uma das variáveis meteorológicas observadas (Tabelas 7 - 9), desde três dias anteriores a consulta até a sua data (*lag 0*, *lag 1*, *lag 2* e *lag 3*) para os horários das 12Z e 18Z, correspondente às manhãs e tardes, respectivamente. A tabela 7 mostra para o grupo Asma que, as maiores correlações, de uma forma geral, foram encontrados às 12Z, sendo que a temperatura (correlação negativa) foi a variável mais associada à ocorrência de consultas, seguida pela pressão atmosférica (correlação positiva), índice de conforto térmico humano (correlação negativa) e umidade relativa (correlação positiva), onde os maiores coeficientes foram associados a temperatura ($r = -0,350$), em *lag 0* e *lag 1*, a umidade relativa ($r = 0,236$) e a pressão atmosférica ($r = 0,290$), em *lag 0* e ICTH ($r = -0,266$), em *lag 2*. A nebulosidade não apresentou significância estatística às 12Z, já a velocidade do vento mostrou significância apenas em *lag 0*, porém a correlação (negativa) foi menos representativa. Portanto, o aumento nas consultas por Asma tende a ocorrer, no mesmo dia, à diminuição da temperatura do ar e da velocidade do vento, assim como o aumento da umidade relativa e da pressão atmosférica, bem como o mesmo comportamento da temperatura com um dia de atraso. Da mesma forma o ICTH ($T_{mín}$; $UR_{máx}$) mostra as maiores correlações (negativas) 1 a 2 dias antes da consulta, ou seja, confirmando que o aumento da sensação de frio úmido é desfavorável à saúde humana, concordando com Lopes (2015). Durante as tardes (18Z) percebe-se uma proximidade no valor das correlações entre as consultas e as variáveis quando comparado às 12Z, exceto pela temperatura (todas as correlações diminuíram consideravelmente, sendo que a maior queda ocorreu em *lag 1*) e pela

umidade relativa, que não apresentou correlações significantes. Como o ICTH representa o resultado conjunto da temperatura e da umidade relativa, a situação atmosférica favorável, à tarde, ao aumento das consultas, é bem próxima da situação favorável pela manhã, no entanto com menor influência.

Tabela 7 - Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por Asma, em função do “lag” e horário.

Asma	12Z				18Z			
Variável	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
T	-0,350**	-0,350**	-0,334**	-0,312**	-0,227**	-0,260**	-0,252**	-0,247**
UR	0,236**	0,210**	0,197**	0,199**	0,017	0,048	0,037	0,078*
P	0,290**	0,260**	0,233**	0,221**	0,266**	0,259**	0,228**	0,204**
V	-0,133**	-0,053	-0,052	-0,049	-0,111**	-0,087*	-0,074*	-0,032
N	-0,039	0,017	0,046	0,027	-0,073*	-0,037	-0,023	-0,020
ICTH	-0,232**	-0,262**	-0,266**	-0,233**	-0,228**	-0,252**	-0,232**	-0,228**

* Nível de significância de 5%, ** Nível de significância de 1%.

A tabela 8 mostra que os coeficientes de correlação entre as frequências diárias de consultas por IRA e as medidas das variáveis meteorológicas apresentaram valores, geralmente, menores que os observados para o grupo Asma nos mesmos lag's e horários. Às 12Z, a maior correlação com as consultas por IRA ocorreu com a temperatura ($r = -0,311$) em lag 0, assim como a pressão ($r = 0,236$), o ICTH ($r = -0,208$) e a magnitude do vento ($r = -0,118$), porém para a temperatura e para a pressão os coeficientes em lag 1 foram bem próximos. Já a umidade relativa teve sua maior correlação ($r = 0,186$) em lag 3 (porém com pouca diferença para os demais lag's). A nebulosidade, novamente, não apresentou correlações significativas. Portanto, as consultas por IRA tendem a aumentar no mesmo dia, ou no dia posterior a queda da temperatura; no mesmo dia de queda do ICTH e queda da velocidade do vento; no mesmo dia, ou um dia após o aumento da pressão atmosférica; e três dias após o aumento da umidade relativa do ar. À tarde, os maiores coeficientes de correlação entre a frequência de consultas e as variáveis temperatura ($r = -0,225$), pressão atmosférica ($r = 0,276$) e ICTH ($r = -0,221$) ocorreram nos mesmos lag's que o grupo Asma. A umidade relativa não apresentou coeficientes significantes, assim como a nebulosidade. Já a velocidade do vento teve correlação significativa apenas com três dias de atraso (lag 3; $r = -0,094$), porém pouco representativa. Portanto, à tarde, os

atendimentos por IRA tendem a aumentar no dia do aumento da pressão, um dia após a diminuição da temperatura do ar (assim como do ICTH).

Tabela 8 - Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por IRA, em função do “lag” e horário.

IRA	12Z				18Z			
Variável	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
T	-0,311**	-0,297**	-0,274**	-0,259**	-0,201**	-0,225**	-0,196**	-0,165**
UR	0,171**	0,172**	0,179**	0,186**	0,002	0,043	0,030	0,048
P	0,289**	0,271**	0,195**	0,200**	0,276**	0,271**	0,199**	0,182**
V	-0,118**	-0,072	-0,034	-0,059	-0,040	-0,071	-0,051	-0,094*
N	-0,005	0,041	0,050	-0,011	-0,071	-0,027	-0,005	-0,056
ICTH	-0,208**	-0,197**	-0,206**	-0,177**	-0,199**	-0,221**	-0,199**	-0,149**

* Nível de significância de 5%, ** Nível de significância de 1%.

O somatório dos atendimentos por problemas respiratórios, o grupo Asma/IRA, tem suas correlações com as variáveis meteorológicas apresentadas na tabela 9, onde percebe-se uma manutenção na ordem de relevância das variáveis às 12Z, tendo em *lag 0* os maiores coeficientes para a temperatura ($r = -0,405$), umidade relativa ($r = 0,255$), pressão atmosférica ($r = 0,340$) e velocidade do vento ($r = -0,148$) e em *lag 2* para o ICTH ($r = -0,298$), sendo que estas foram as maiores correlações entre as variáveis meteorológicas e os grupos de doenças respiratórias. Como os coeficientes máximos para cada variável ocorreram nos mesmos lag's e horários que no grupo Asma, há semelhança entre as situações atmosféricas favoráveis ao aumento de enfermidade para ambos os grupos. Para às 18Z, foram encontradas correlações significativas, porém baixas, para a umidade relativa, velocidade do vento e nebulosidade. Logo o número de atendimentos tende a aumentar no mesmo dia da elevação da pressão atmosférica ($r = 0,315$) e com um dia após à queda da temperatura ($r = -0,307$) e do ICTH ($r = -0,298$).

Tais valores de correlação, para todos os grupos, corroboram os já encontrados anteriormente por Coelho (2007).

Tabela 9 - Correlações entre as variáveis meteorológicas e a frequência diária de consultas por Asma/IRA, em função do “lag” e horário.

Asma/IRA	12Z				18Z			
Variável	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
T	-0,405**	-0,401**	-0,382**	-0,363**	-0,271**	-0,307**	-0,289**	-0,281**
UR	0,255**	0,246**	0,232**	0,247**	0,031	0,076*	0,056	0,103**
P	0,340**	0,307**	0,260**	0,253**	0,315**	0,308**	0,256**	0,233**
V	-0,148**	-0,069*	-0,054	-0,060	-0,108**	-0,102**	-0,086**	-0,068*
N	-0,019	0,041	0,055	0,029	-0,073*	-0,030	-0,026	-0,023
ICTH	-0,272**	-0,294**	-0,298**	-0,265**	-0,269**	-0,298**	-0,272**	-0,255**

* Nível de significância de 5%, ** Nível de significância de 1%.

4.3 - Classificação das consultas em função do ICTH

Conforme visto anteriormente, as manhãs frias e úmidas (12Z) mostraram-se mais propícias ao aumento de complicações respiratórias, com base nisso, os atendimentos ambulatoriais foram classificados em termos do índice de conforto térmico humano, pois representam a ação conjunta das variáveis, e comparados ao comportamento dos dias do período estudado. Para tanto, as consultas (representadas pelo valor do ICTH às 12Z, no dia da mesma e nos antecedentes) e os dias do período (conforme valor do ICTH, às 12Z), foram distribuídos conforme classificação de Monteiro e Alucci (2007), que estabelece zonas térmicas, sobre as quais foram alocadas as consultas (em *lag* 0, *lag* 1, *lag* 2 e *lag* 3) e os dias (com e sem consultas). Tais zonas variam desde “muito frio” (< 4°C), “frio a ligeiramente frio” (4 a 12°C), “ligeiramente frio a confortável” (12 a 18°C), “confortável” 18 a 26°C), “confortável a ligeiramente quente” (26 a 31°C), “ligeiramente quente a quente” (31 a 41°C) a “quente” (> 41°C).

A figura 18 mostra a distribuição de frequência relativa para todos os dias do período, onde percebe-se uma supremacia da sensação de frio (<18°C), em 55% dos dias. Em 37% dos dias houve sensação de conforto (18 a 26°C). Ao analisar agora o comportamento das consultas no período, é notório que todos os *lag*'s observados estão distribuídos de forma semelhante em relação às zonas térmicas. Em todos os *lag*'s, cerca de 65% das consultas estiveram associadas à sensação de frio e, aproximadamente, 30% estiveram relacionadas a sensação de conforto térmico. A zona térmica mais frequente foi a zona de “ligeiramente frio a confortável”, com cerca de 33% das consultas. Portanto, estima-se haver, um aumento diário das consultas por Asma sob condições de desconforto por frio, o qual pode ser agravado com o

aumento da umidade relativa e da velocidade do vento. Estes resultados concordam com os encontrados por Maia e Gonçalves (2002), Coelho (2007) e Nedel (2008) para a cidade de São Paulo e Lopes (2015) para a cidade de Pelotas.

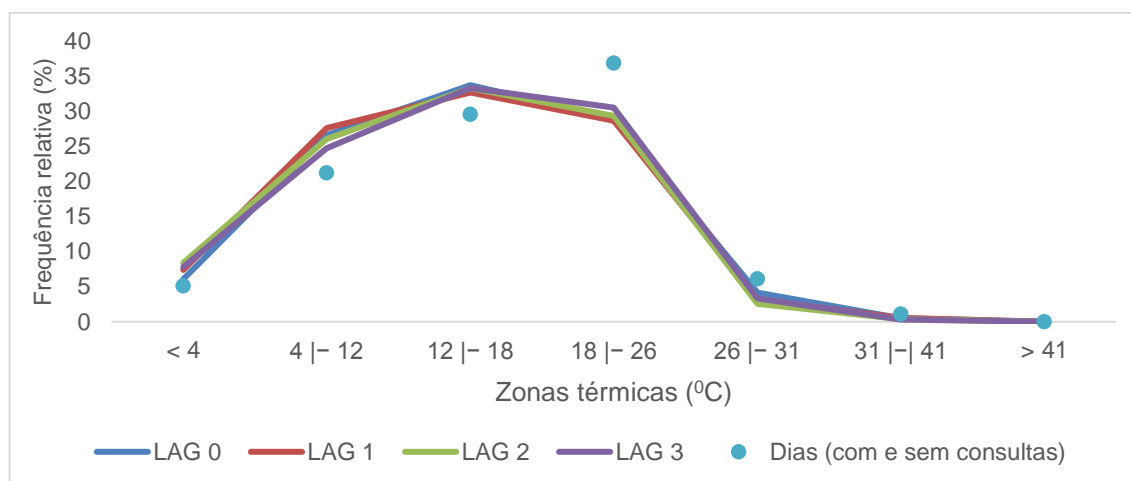


Figura 18 – Frequência relativa das consultas por Asma e dos dias com e sem consultas, em função da sensação térmica, às 12Z.

A distribuição de frequência das consultas por IRA está descrita na figura 19, na qual observa-se uma considerável semelhança com a distribuição no grupo Asma, com percentuais muito próximos para cada zona e sensação térmica. IRA mostrou uma associação com frio um pouco maior para o *lag 1* (vésperas das consultas), destacada na zona “ligeiramente frio a confortável”, no entanto as condições associadas ao aumento/diminuição de consultas são as mesmas para ambos os grupos de doenças.

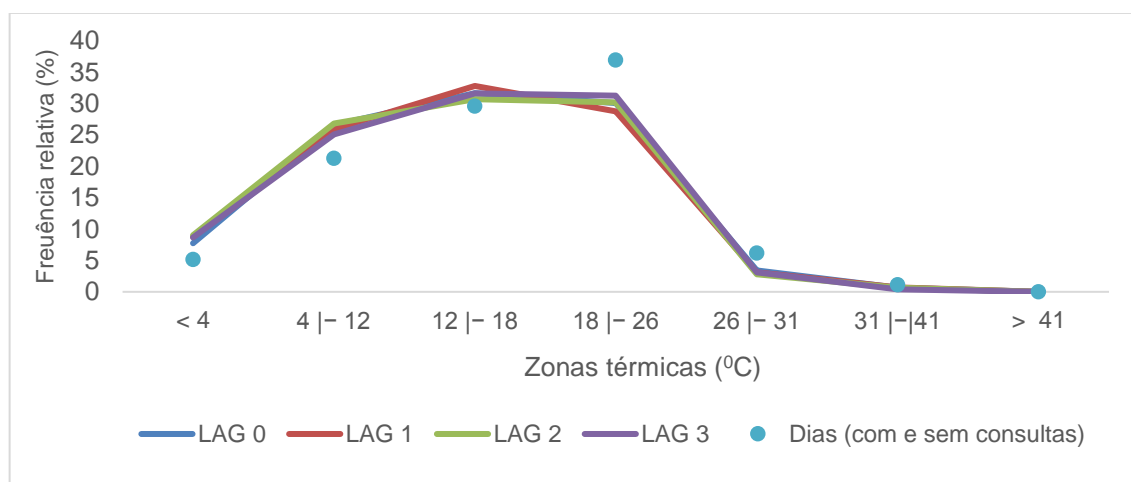


Figura 19 – Frequência relativa das consultas por IRA e dos dias com e sem consultas, em função da sensação térmica, às 12Z.

Como era esperado, as distribuições das consultas e dias, exibidas na figura 20, é muito próxima do grupo Asma (Figura 18). Logo, todos os grupos possuem o aumento na frequência diária de suas consultas associadas, de forma muito semelhante, à sensação de frio.

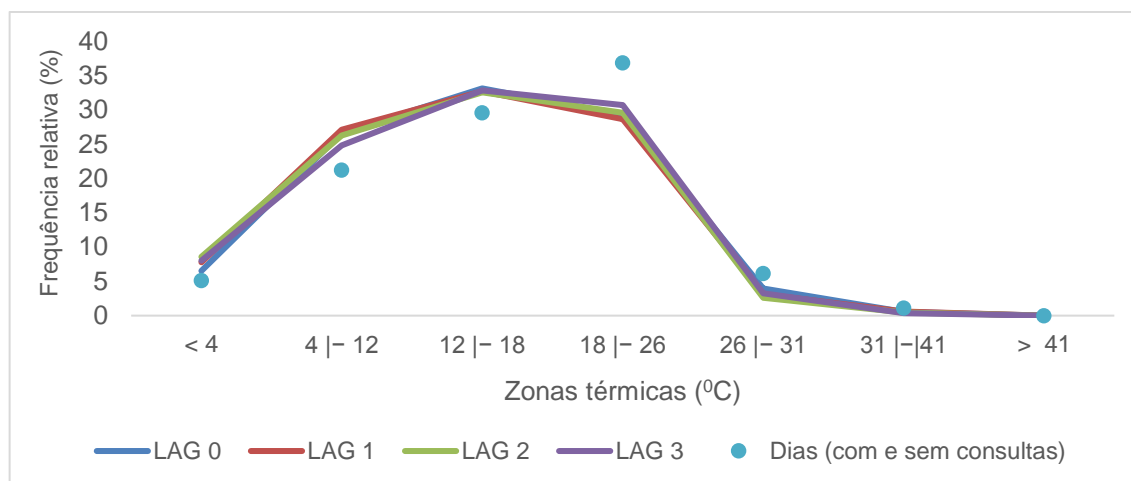


Figura 20 – Frequência relativa das consultas por Asma/IRA e dos dias com e sem consultas, em função da sensação térmica, às 12Z.

4.4 Análise do comportamento dos poluentes

Muitos estudos em todo mundo (assim como no Brasil), citados nesta pesquisa, têm destacado os riscos à saúde das pessoas que vivem em regiões com má qualidade do ar, no entanto medidas que possam reduzir os níveis dos poluentes, costumam destoar dos interesses políticos e econômicos, o que torna a sociedade cada vez mais vulnerável aos riscos causados pela poluição. Desta forma esta pesquisa procurou avaliar a influência do material particulado inalável e do monóxido de carbono nas complicações respiratórias das crianças de Canoas, município que abrange muitas fontes, tanto móveis (principalmente, veículos automotores) quanto fixas (principalmente, indústrias)

4.4.1 Material particulado (PM10)

Foram observados para a cidade de Canoas, o comportamento dos poluentes PM10, os quais, conforme a literatura citada, estão associados a muitos problemas respiratórios em crianças.

A fim de obter uma maior compreensão das partículas inaláveis, a tabela 10 mostra os coeficientes das correlações entre cada grupo de doenças e as concentrações máximas diárias de PM10, para as defasagens mais representativas, lag's 0 a 6 (BRAGA et al., 1999). Os maiores valores foram encontrados em lag 0, com considerável supremacia sobre os demais lag's, para os grupos Asma/IRA ($r = 0,175$) e Asma ($r = 0,158$), enquanto IRA apresentou a maior correlação em lag 1 ($r = 0,159$), mas os coeficientes referentes aos lag 0 ($r = 0,152$) e lag 2 ($r = 0,149$) foram aproximados. Todas as correlações foram positivas, concordando com o fato de que a presença dos poluentes atmosféricos favorece o surgimento de complicações respiratórias (COELHO, 2007; JEZABEL, 2010). Assim como aconteceu em relação às variáveis meteorológicas, o maior coeficiente de correlação ocorreu com o grupo Asma/IRA, no entanto os poluentes, de uma forma geral, mostraram-se menos correlacionados com as doenças do que a temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e ICTH.

Tabela 10 – Coeficientes de correlação entre as concentrações diárias máximas de PM10 e as frequências diárias de consultas.

Doença	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 4	Lag 5	Lag 6	Lag 7
Asma/IRA	0,175**	0,121**	0,138**	0,098**	0,089*	0,102**	0,080*	0,098**
Asma	0,158**	0,084*	0,111**	0,043	0,049	0,066	0,054	0,069
IRA	0,152**	0,159**	0,149**	0,103*	0,079	0,107*	0,091*	0,067

* Nível de significância de 5%, ** Nível de significância de 1%.

Em virtude da maior associação dos poluentes ter sido encontrada com Asma/IRA, este será o único grupo cuja série temporal será comparada à concentração de PM10. Para tanto, as distribuições das concentrações máximas diárias de PM10, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, assim como a frequência diária de consultas por Asma/IRA para o período de jan/2005 a set/2008 estão descritas na figura 21. Não é verificada, necessariamente, uma grande variação nos poluentes, mas as maiores concentrações (excluindo os valores discrepantes) estiveram mais aglomeradas entre os meses de junho a agosto para os anos 2005 a 2007, e em 2008, entre a segunda quinzena de maio e a primeira de junho. Apesar dos padrões de qualidade do ar ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para o PM10 ser definido para um período de 24 horas, é destacável o fato dos máximos diários terem ultrapassado em 16 oportunidades este nível, sendo 10 casos em 2008, que foi o ano mais atípico da série, o qual abrangeu

a maioria dos valores mais destoantes do período, sendo dois casos no verão, enquanto o pico chegou a $439 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18/07/2008), outros destaques foram: $430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (07/10/2006), $410 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (17/07/2008) e $397 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (29/02/2008). É importante salientar que as datas excluídas (conforme item 3.4) aparecem na série como concentração nula, assim como as datas sem medições.

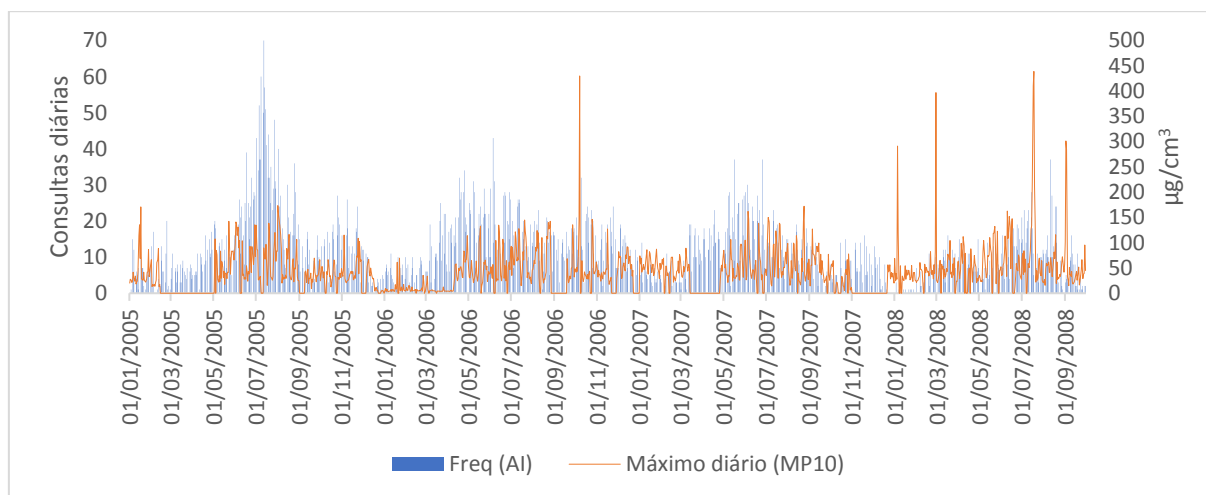


Figura 21 – Série temporal da frequência diária de consultas por Asma/IRA e máximos diários de PM10.

4.4.2 Monóxido de carbono (CO)

Os coeficientes das correlações entre os grupos de doenças e as concentrações máximas diárias de monóxido de carbono, em ppm (partes por milhão), estão apresentados na tabela 11, onde se destaca o *lag* 5, como o maior coeficiente ($r = 0,232$) para Asma/IRA, *lag* 6 para Asma ($r = 0,203$), enquanto para o grupo IRA, o maior coeficiente de correlação ($r = 0,194$) ocorreu em *lag* 3. O grupo Asma/IRA apresentou as maiores correlações com os poluentes (em cada um dos *lag*'s), com uma saliência maior em relação aos grupos Asma e IRA do que o observado em relação às concentrações de PM10. Diferentemente do que ocorreu com o poluente PM10, o CO apresentou, para cada grupo, menor variabilidade entre os *lag*'s observados, mas todas as correlações foram positivas, concordando, também, que o aumento na concentração dos poluentes está associado ao aumento das complicações respiratórias.

Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre as concentrações diárias máximas de CO e as frequências diárias de consultas.

Doença	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3	Lag 4	Lag 5	Lag 6	Lag 7
Asma/IRA	0,198**	0,192**	0,206**	0,217**	0,202**	0,232**	0,217**	0,180**
Asma	0,193**	0,153**	0,175**	0,168**	0,150**	0,187**	0,203**	0,147**
IRA	0,110*	0,160**	0,142**	0,194**	0,172**	0,186**	0,147**	0,153**

* Nível de significância de 5%, ** Nível de significância de 1%.

A figura 22 mostra as séries temporais diárias das frequências de consultas por Asma/IRA e das concentrações máximas de monóxido de carbono, em ppm (o valor negativo no eixo deve-se a melhor visualização da série). Ao contrário do que ocorreu em relação ao poluente PM10, o CO apresentou uma distribuição bem definida, mostrando um comportamento sazonal, onde as maiores concentrações ocorreram nos meses de inverno (com menor destaque ao agosto/2007), portanto houve uma associação entre frio e aumento na concentração do poluente, provavelmente pela maior influência de sistemas de alta pressão neste período sobre a região de Canoas. O monóxido de carbono não ultrapassou os padrões de qualidade do ar (35 ppm, amostragem horária), o mesmo, também, não ocorreria em relação à média móvel de 8 horas (9 ppm), pois o maior valor da série foi de 6,8 ppm.

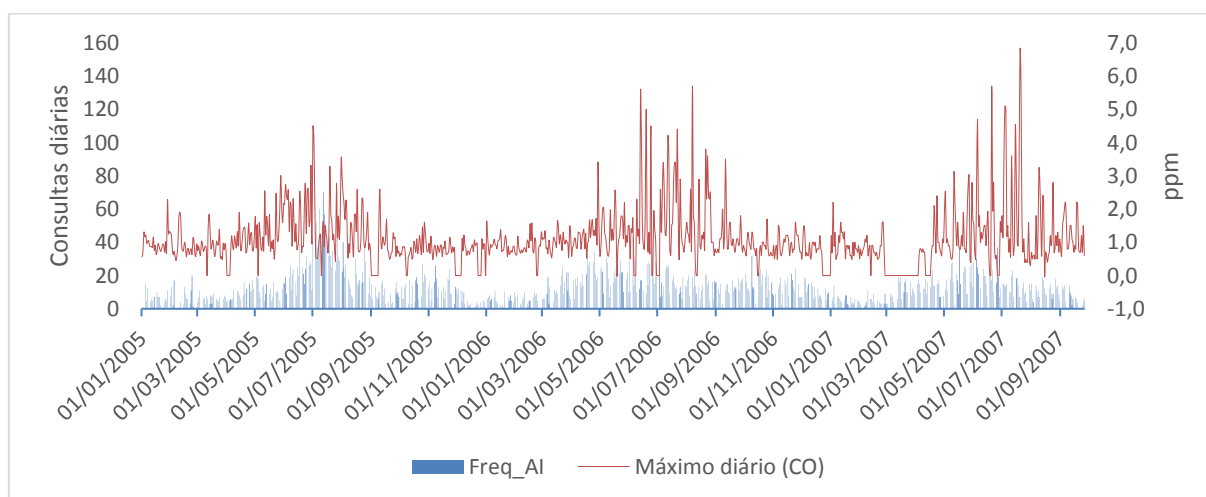


Figura 22 – Série temporal da frequência diária de consultas por Asma/IRA e máximos diários de monóxido de carbono.

4.5 Análise de Componentes Principais (ACP)

Para se obter uma maior compreensão da influência das variáveis ambientais sobre o aumento das doenças respiratórias, utilizou-se o método de componentes principais sobre os parâmetros meteorológicos e poluentes, realizando, posteriormente, uma análise de correlações entre os escores gerados e a frequência diária de consultas por Asma/IRA, que foi o grupo que apresentou as maiores correlações com as variáveis ambientais. Foram considerados os valores das variáveis às 12Z, pois foi o horário com mais influente no aumento das complicações respiratórias.

A função que descreve as componentes principais (sem levar em consideração os poluentes) para cada data está descrita na equação 19, que considera as variáveis em *lag* 0, *lag* 1, *lag* 2 e *lag* 3.

$$\begin{aligned}
 CP_i = & T'_0 \cdot e_{1i} + UR'_0 \cdot e_{2i} + P'_0 \cdot e_{3i} + V'_0 \cdot e_{4i} + Dir'_0 \cdot e_{5i} + N'_0 \cdot e_{6i} + ICTH'_0 \cdot e_{7i} + T'_1 \cdot e_{8i} + UR'_1 \cdot e_{9i} + P'_1 \cdot e_{10i} \\
 & + V'_1 \cdot e_{11i} + Dir'_1 \cdot e_{12i} + N'_1 \cdot e_{13i} + ICTH'_1 \cdot e_{14i} + T'_2 \cdot e_{15i} + UR'_2 \cdot e_{16i} + P'_2 \cdot e_{17i} + V'_2 \cdot e_{18i} + Dir'_2 \cdot e_{19i} + N'_2 \cdot e_{20i} \quad (19) \\
 & + ICTH'_2 \cdot e_{21i} + T'_3 \cdot e_{22i} + UR'_3 \cdot e_{23i} + P'_3 \cdot e_{24i} + V'_3 \cdot e_{25i} + Dir'_3 \cdot e_{26i} + N'_3 \cdot e_{27i} + ICTH'_3 \cdot e_{28i}
 \end{aligned}$$

onde:

CP_i é a *i*-ésima componente principal.

$Var'_{j, 0 \leq j \leq 3}$ são as anomalias das variáveis.

$e_{ni}, 1 \leq n \leq 28$ representam os pesos das anomalias das variáveis para a *i*-ésima CP.

As anomalias das variáveis foram definidas em relação às médias destas variáveis em cada período analisado, ou seja, não foram comparadas às médias ou normais climatológicas.

4.5.1 Análise de Componentes Principais para o período de janeiro/2005 a setembro/2008

A fim de compreender mais especificamente a influência do tempo/clima sob as doenças respiratórias, realizou-se análises para diferentes períodos de cada ano. Inicialmente foi observado a série completa, jan/2005 a set/2008, onde as correlações significativas (ao nível de 5% de significância estatística) entre os escores das

variáveis meteorológicas e a frequência diária das consultas por Asma/IRA são mostradas na tabela 12, onde a primeira componente principal ($r = 0,413$) foi a mais destacada, explicando 31% da variância dos dados, com grande supremacia sobre as demais.

Tabela 12 – Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de jan/2005 a set/2008.

	CP1	CP2	CP4
r	0,413	-0,121	0,104
Variância captada (%)	31,09	10,32	5,93

Analisando os pesos referentes à primeira componente principal (os índices 0, 1, 2 e 3 referem-se às anomalias das variáveis, respectivamente, nos lag's 0, 1, 2 e 3), percebe-se uma grande semelhança no comportamento das variáveis desde os três dias antecedentes até o dia da consulta, onde as anomalias negativas de temperatura e de ICTH são as mais influentes, seguidas pelas anomalias positivas de pressão e de umidade relativa (Figura 23).

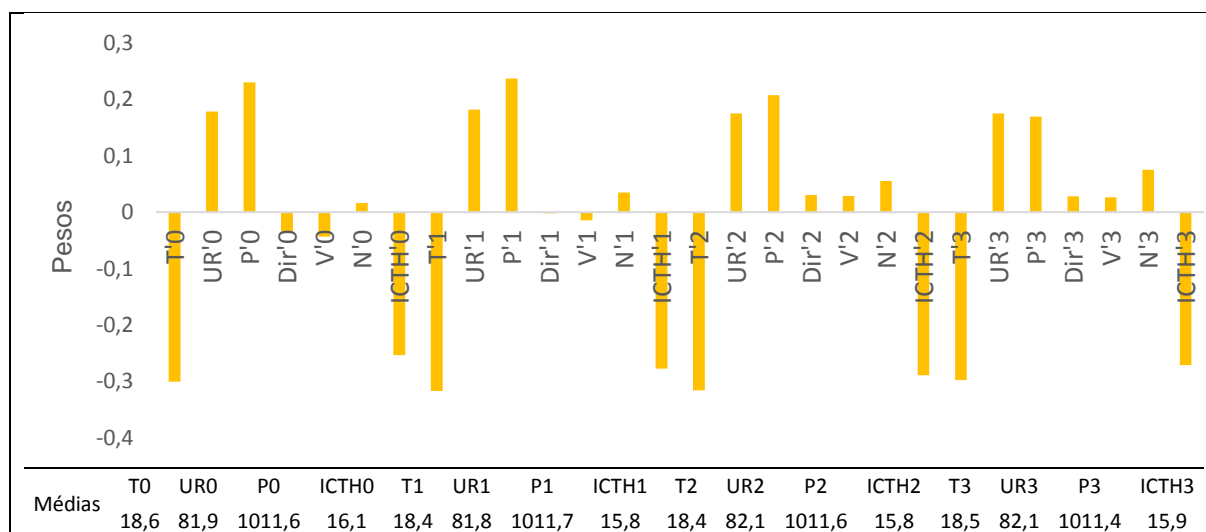


Figura 23 – Pesos referentes à CP1 e média das variáveis mais influentes no período de janeiro/2005 a setembro/2008.

Como a correlação entre a CP1 e a frequência de consultas apresentou um sinal positivo, para que haja aumento no número diário de atendimento por Asma/IRA, CP1 também deverá ser positiva. Assumido os maiores pesos e levando em

consideração que seus valores (incluindo os sinais) são fixos, através de equação 20, juntamente à análise de sinais, chega-se a mesma relação, favorável à elevação no número diário de atendimentos, para todos os *lag*'s. Portanto, o aumento da frequência de consultas esteve, basicamente, associado a anomalias negativas de temperatura (assim como ICTH) e positivas de umidade relativa e pressão tanto no dia da consulta como em dias anteriores. A maior associação com frio corrobora os resultados encontrados por Lecha (1998) e Lopes (2015).

$$CP_1 = T'_0.e_1 + UR'_0.e_2 + P'_0.e_3 + ICTH'_0.e_7 + \dots \quad (20)$$

$$+ \quad (-).(-) + (+).(+) + (+).(+) + (-).(-)$$

onde:

T' é a anomalia de temperatura do ar

UR' é a anomalia de umidade relativa

P' é a anomalia de pressão atmosférica

$ICTH'$ é a anomalia de índice de conforto térmico humano

Levando em consideração as componentes principais cujas correlações com a frequência diária de consultas foram significativas, construiu-se o seguinte modelo de regressão linear, equação 21:

$$Freq_{est_1} = 12,04 + 1,21.CP_1 - 0,62.CP_2 + 0,70.CP_4 \quad (21)$$

O coeficiente de correlação entre a frequência observada e a estimada por esse modelo foi 0,448, no entanto considerando apenas a primeira componente como variável preditora obtém-se a equação 22:

$$Freq_{est_2} = 12,04 + 1,21.CP_1 \quad (22)$$

A correlação associada a este modelo foi de 0,413. Houve uma perda de 0,035, a qual foi pouco representativa, sendo mais conveniente utilizar apenas com a CP_1 , pois esta representa o padrão atmosférico predominante no período. Os dois modelos foram plotados na figura 24, onde é possível notar uma grande semelhança entre ambos, os quais apresentaram uma grande proximidade entre as elevações e quedas nas frequências estimadas, em relação às frequências observadas, no entanto

subestimaram o número de consultas em dias com grandes ocorrências e superestimaram em dias com poucas ocorrências de consultas. Estes modelos são boas representações da busca por atendimento no período, pois apresentam apenas a relação meteorológica com as consultas, sem levar em consideração as (inúmeras) variáveis pessoais (citadas anteriormente, que são extremamente difíceis de mensurar). Os modelos não foram testados fora do período, sendo caracterizados, a princípio, como estimadores e não preditores de consultas.

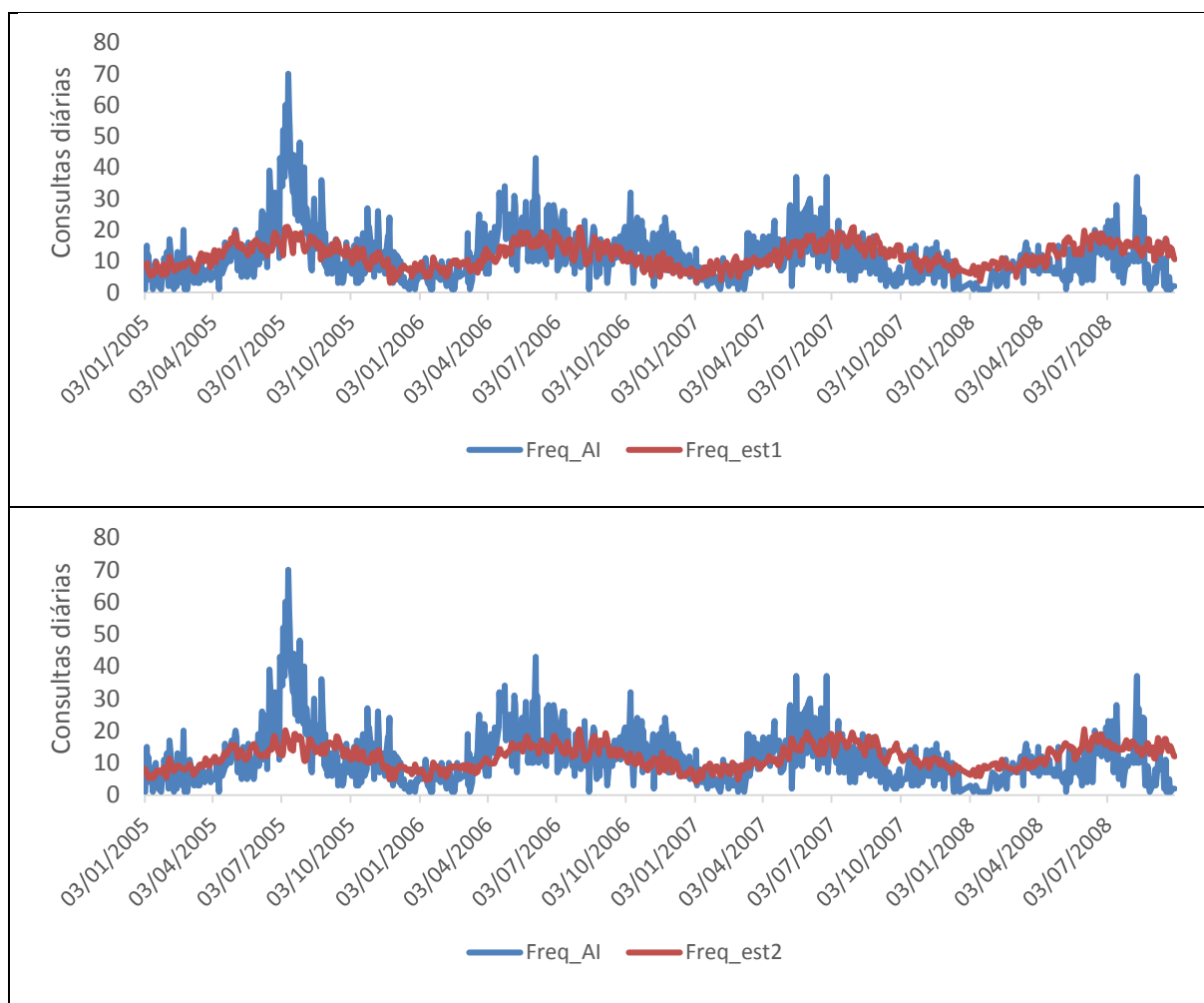


Figura 24 – Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e frequências estimadas pelos modelos para o período de janeiro/2005 a setembro/2008.

A figura 25 mostra os maiores percentis de consultas diárias agrupados por intervalos de classe, os quais estão representados pelas médias das consultas e dos escores nestas faixas. É possível observar que, embora tenha havido uma pequena queda do escore médio dos intervalos de P65-P75 para P75-P65, as frequências de consultas tendem a aumentar conforme aumentam os escores, mostrando uma

qualidade aceitável do modelo que contempla apenas a primeira componente principal e reafirmando as principais condições meteorológicas associadas ao aumento no número de atendimentos diário.

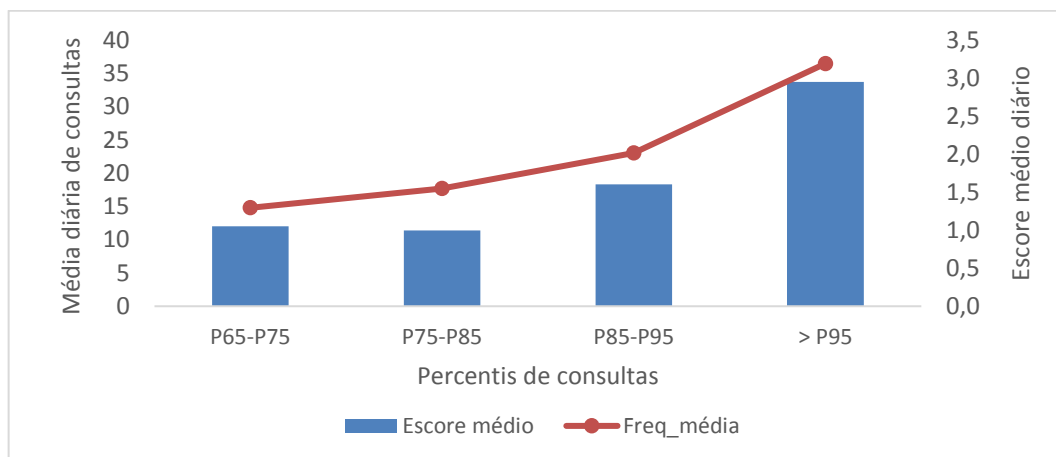


Figura 25 – Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para o período de janeiro/2005 a setembro/2008.

4.5.2 Análise de Componentes Principais para os períodos março a agosto

Objetivando encontrar padrões mais específicos, diferentes períodos da série foram analisados, sendo escolhidos com base na distribuição mensal de consultas por Asma/IRA (mostradas no item 4.1.1). Os meses de outubro e novembro foram descartados, uma vez que, nesses meses, há grande influência de polens na atmosfera, que podem mascarar/causar confusão nos resultados. Para os intervalos março e agosto dos anos de 2005 a 2008, as correlações significativas ao nível de 5% de significância (escores das variáveis meteorológicas e a frequência diária das consultas por Asma/IRA) são mostradas na tabela 13. Assim como aconteceu em relação ao período completo de estudo (jan/2005 a set/2008), a primeira componente principal apresentou uma supremacia, na correlação ($r = 0,311$) com as consultas, em relação as demais, bem como uma explicação de 26,78% da variância dos dados.

Tabela 13 – Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de março a agosto.

	CP1	CP2	CP5	CP8
r	0,311	0,095	0,147	-0,106
Variância captada (%)	26,78	11,67	6,41	3,81

Analizando os pesos da CP1 (Figura 26), nota-se, uma manutenção das variáveis mais influentes, em relação a análise do período completo, no entanto a umidade relativa teve uma menor influência nos quatro dias observados (sendo mais representativa conforme se aproxima do dia da consulta), isso se deve muito a redução da variabilidade da UR neste período.

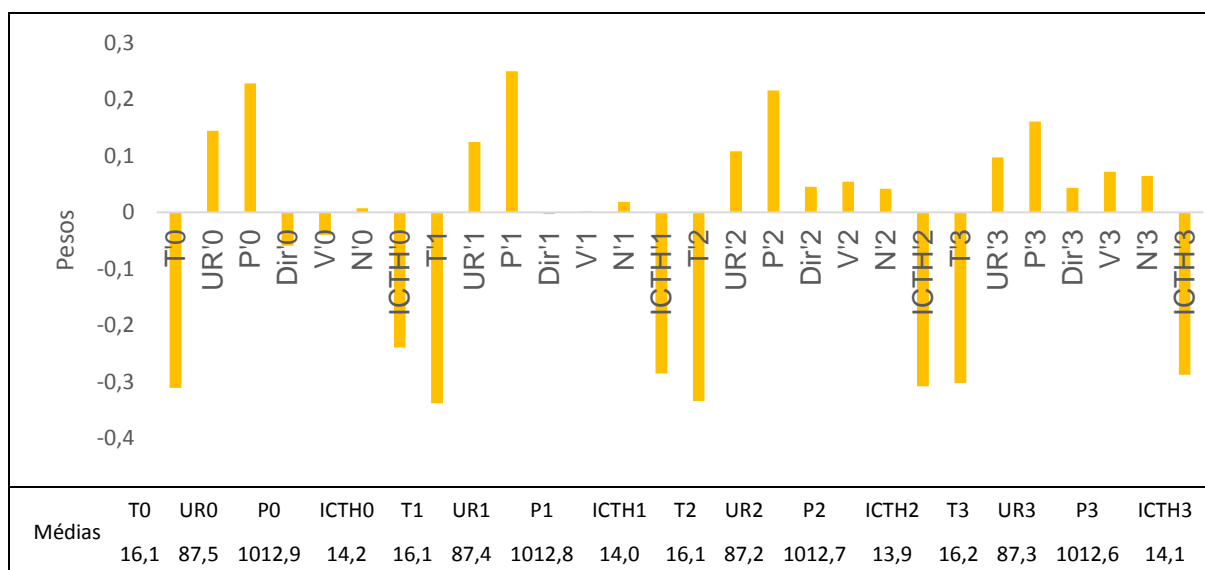


Figura 26 – Pesos referentes à CP1 e média das variáveis mais influentes nos períodos de maio a agosto.

A correlação entre a frequência diária de consultas e a primeira componente principal apresentou um sinal positivo, portanto a análise de sinais realizada no item anterior se aplica da mesma forma neste item, logo as principais condições meteorológicas favoráveis ao aumento das consultas são, para todos os *lag's* observados, anomalias negativas de temperatura e do ICTH, juntamente com anomalias positivas de pressão atmosférica e de umidade relativa do ar.

Aplicando as componentes principais que apresentaram correlações significativas como variáveis preditoras de um modelo de regressão linear, no qual a variável dependente é a frequência diária de consultas por Asma/IRA, chegou-se a função exposta pela equação 23:

$$Freq_{est_1} = 14,97 + 1,07.CP_1 + 0,49.CP_2 + 1,03.CP_5 - 0,96.CP_8 \quad (23)$$

O coeficiente de correlação entre as frequências observada e a estimada foi 0,372.

Aplicando o modelo, apenas, com a primeira componente principal, obtém-se a equação 24:

$$Freq_{est_2} = 14,97 + 1,07.CP_1 \quad (24)$$

onde o coeficiente de correlação cai para 0,311, com uma perda de 0,061, no entanto este modelo parece apresentar pouca perda de informação (Figura 27), sendo viável assumir apenas a primeira componente, assim como no item 4.6.1. Nestes modelos, também houveram um relativo acompanhamento na oscilação do número diário de consultas, no entanto subestimaram as maiores elevações e superestimou as maiores quedas na ocorrência diária de atendimentos, conforme se verificou para os modelos que compreenderam todo o período de estudo.

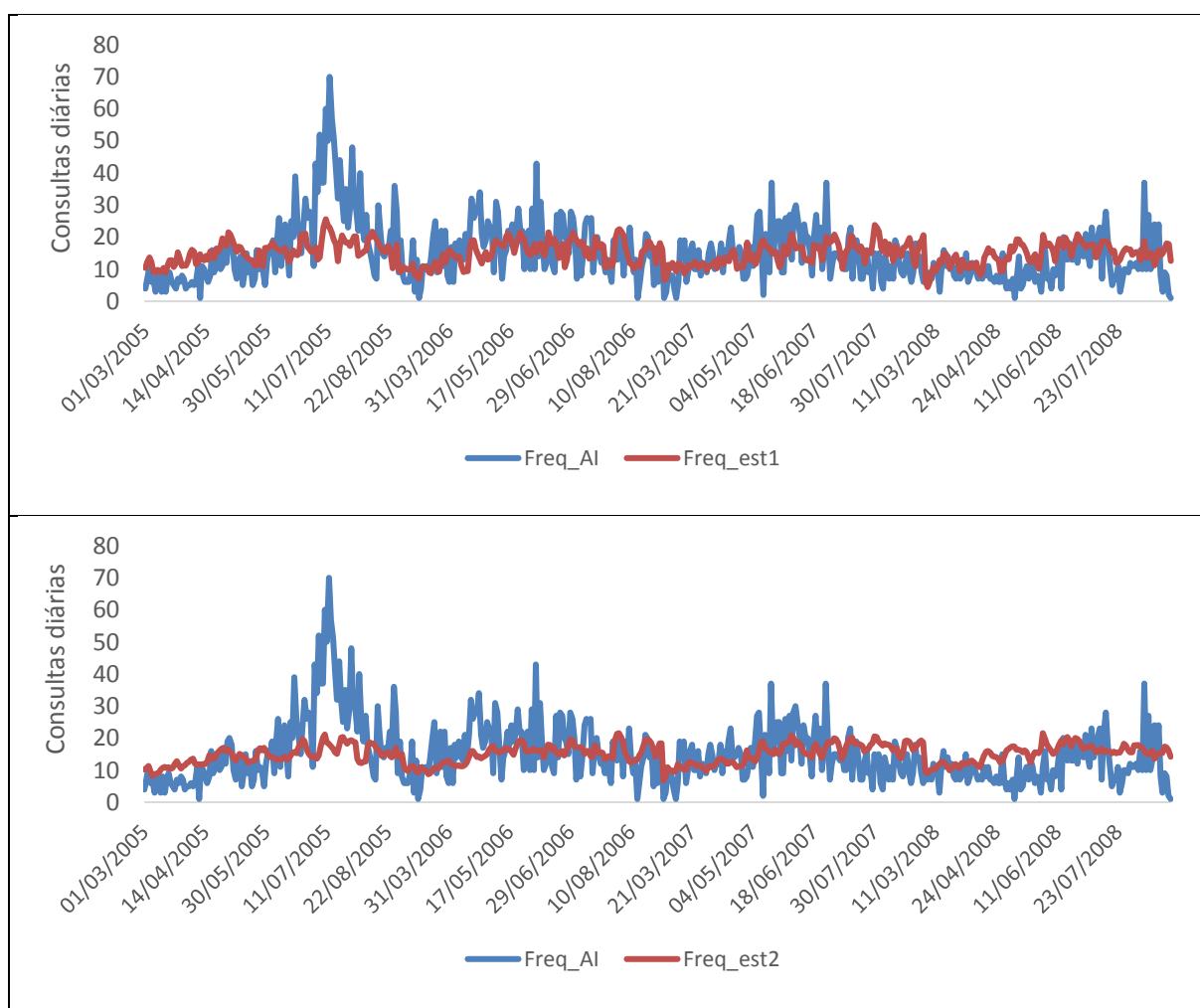


Figura 27 – Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e frequências estimadas pelos modelos para os períodos de março a agosto.

As condições meteorológicas associadas ao aumento das consultas para o período de março a agosto, bem como a qualidade aceitável do modelo predito apenas pela PC1, são ratificadas pelos resultados expostos na figura 28, onde o aumento médio das maiores frequências diárias de consultas (P65 – P100) estão associados ao aumento médio dos escores relativos a estas frequências.

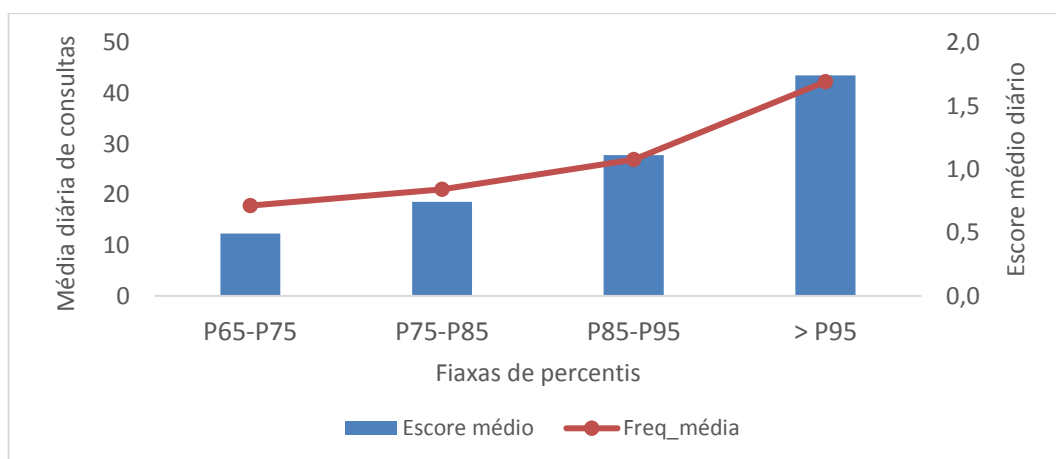


Figura 28 – Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para os períodos de março a agosto.

4.5.3 Análise de Componentes Principais para os períodos abril a julho

A tabela 14 mostra as componentes principais (e os coeficientes de Pearson) que estiveram correlacionadas significativamente ao nível de 5% de significância com as doenças respiratórias, onde observa-se que a maior correlação continuou sendo com a CP1, no entanto foi inversa e com menor supremacia em relação as demais, quando comparado às observações anteriores. A explicação da variância dos dados pela CP1 foi de 23%.

Tabela 14 – Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de abril a julho.

	CP1	CP5	CP8
r	-0,253	-0,135	0,190
Variância captada (%)	22,99	7,15	4,22

A figura 29 mostra os pesos das anomalias das variáveis meteorológicas referentes a primeira, quinta e oitava componentes principais, apresentando, portanto,

três padrões específicos de tempo associados às ocorrências de consultas diárias. Os pesos referentes a CP1 ($r < 0$, análise de sinais oposta às anteriores) descreve um padrão de tempo propício ao aumento das consultas, relativamente semelhante aos observados anteriormente, entretanto as anomalias de umidade relativa não são influentes, talvez pelo fato da UR ser mais elevada neste período. As anomalias de temperatura tiveram maior influência em todos os *lag*'s observados, tendo relevância em todos os dias, assim como as de ICTH, mas esta teve menos destaque em *lag* 0, a pressão atmosférica foi a outra variável com anomalias consideráveis, exceto em *lag* 3, mas com pesos menores. A quinta componente principal ($r < 0$) expõe um padrão de tempo bem diferente do anterior, onde as anomalias de temperatura do ar são pouco representativas, também é verificada para cada variável comportamentos bem diferentes entre os dias (*lag*'s). Nesta situação, o aumento das complicações esteve mais associado às variáveis três dias antes das consultas, através das anomalias de direção e de intensidade do vento (negativas) e positivas de ICTH e, em *lag* 0, pelo intermédio das anomalias negativas de intensidade e de direção do vento, outras menos influentes, mas representativas foram as anomalias de umidade relativa (em *lag* 3) e de pressão (em *lag* 1 e *lag* 0), ambas positivas. Por fim, o terceiro padrão encontrado, referente a oitava componente principal ($r > 0$), esteve associado principalmente às anomalias positivas de pressão, no dia e na véspera das consultas, e a anomalias negativas de umidade relativa em *lag* 3.

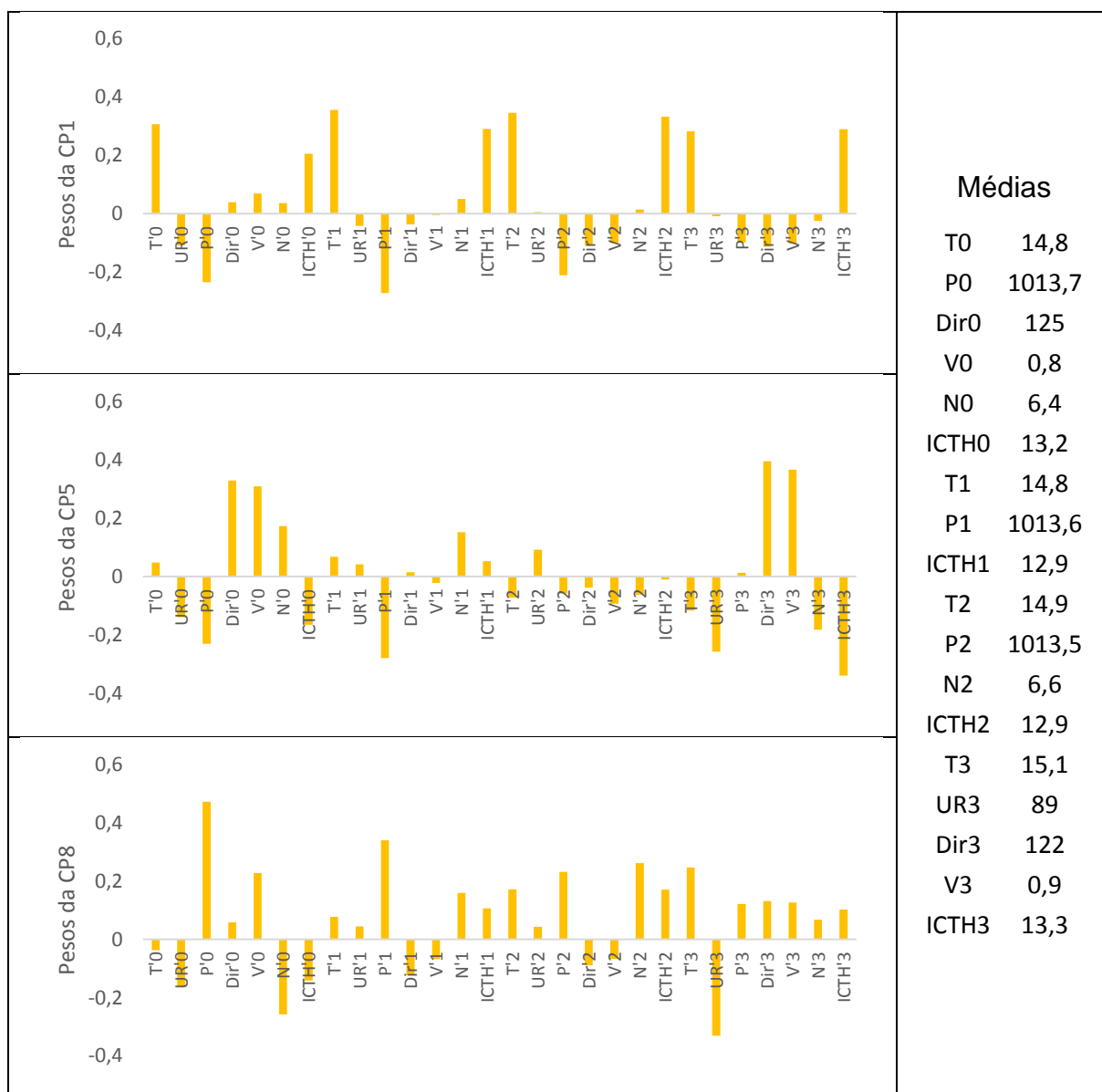


Figura 29 - Pesos referentes às componentes 1, 5 e 8 e média das variáveis mais influentes nos períodos de abril a julho.

Assim como foi realizado anteriormente, para outros períodos, construiu-se um modelo de regressão linear onde as componentes principais significativas foram consideradas como variáveis preditoras, a fim de estimar as frequências diárias de consultas ($Freq_{est}$), obtendo um coeficiente de correlação de 0,344 entre as frequências observadas e estimadas. A equação 25 representa o modelo encontrado:

$$Freq_{est} = 16,62 - 1,01.CP_1 - 0,96.CP_5 + 1,76.CP_8 \quad (25)$$

A função do modelo na forma gráfica juntamente com a frequência observada, aplicada aos dias das consultas, estão expostas na figura 30, onde percebe-se uma

oscilação menor da frequência estimada em relação às variações das consultas no período. Mais uma vez, a frequência estimada esteve, geralmente, mais próxima à média do que a frequência observada, provocando as subestimações das maiores e as superestimações das menores ocorrências diárias.

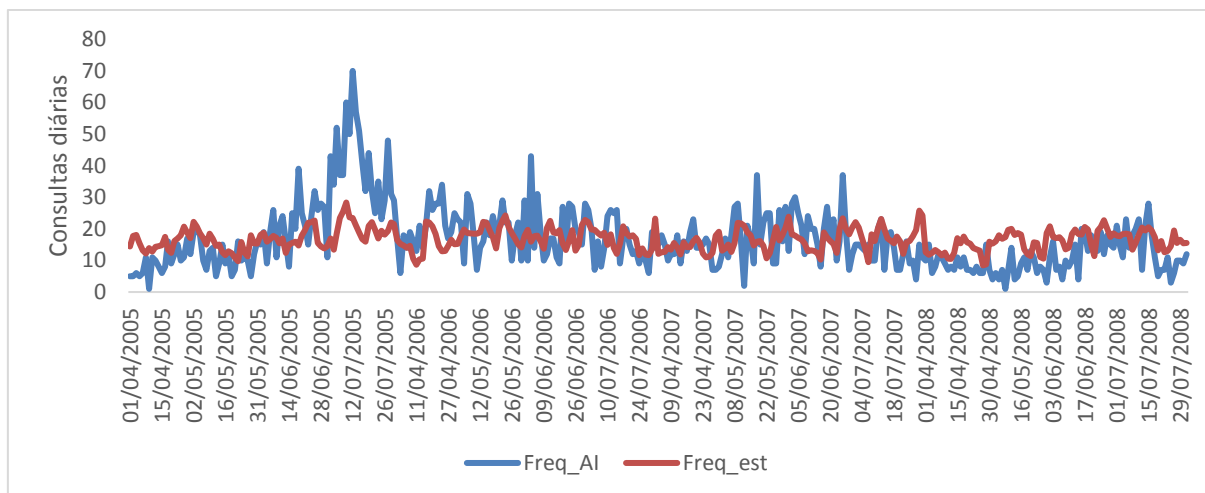


Figura 30 – Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e frequências estimadas pelo modelo para os períodos de abril a julho.

A figura 31 mostra que os dias com as maiores quantidades de consultas (P85-P100) estão associados aos maiores escores médios para os períodos de abril a julho dos anos de 2005 a 2008, em outras palavras, pode-se afirmar que o modelo acompanha melhor a frequência de atendimentos nas datas com muitas consultas.

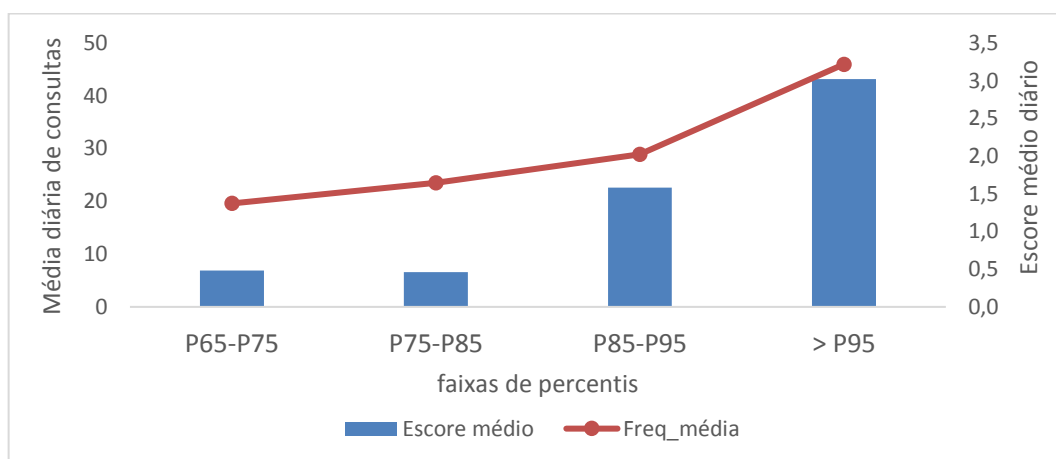


Figura 31 – Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para os períodos de abril a julho.

4.5.4 Análise de Componentes Principais para os períodos junho a julho

Para se obter um padrão de tempo associado às maiores ocorrências de atendimentos ambulatoriais, analisou-se o período que abrange os meses de junho e julho dos anos de 2005 a 2008, no qual as componentes principais 4 e 7 foram as únicas a estar correlacionadas significativamente (ao nível de 5% de significância estatística) com a frequência de consultas. As explicações da variância dos dados por CP4 e CP7 foram, respectivamente, 7,91% e 4,85% (Tabela 15).

Tabela 15 – Coeficientes de correlação significativos entre as componentes principais e frequência de consultas por Asma/IRA de junho a julho.

	CP4	CP7
r	-0,164	0,247
Variância captada (%)	7,91	4,85

Os pesos associados a quarta e a sétima componente principal estão exibidos na figura 32. Para a CP4 ($r < 0$) percebe-se uma prevalência de anomalias negativas (associadas ao aumento no número de consultas), onde destacou-se a nebulosidade (nos quatro dias), a umidade relativa (*lag* 2) e a direção e intensidade do vento (*lag* 0 e *lag* 3), já o ICTH apresentou anomalias positivas em *lag* 0 e *lag* 3, porém menos representativas, este comportamento do ICTH talvez esteja associado a diminuição do vento, que através do aumento de sua velocidade costuma reduzir as sensações térmicas no período. Em relação ao padrão meteorológico estabelecido pela CP7 ($r > 0$), cujos pesos das variáveis estiveram mais diversificados, o aumento na quantidade diária de atendimentos esteve associado, principalmente, às anomalias negativas de umidade relativa do ar (*lag* 3), direção do vento (*lag* 1), nebulosidade (*lag* 3) e ICTH (*lag* 0) e positivas de pressão atmosférica (*lag* 0), velocidade do vento (*lag* 0) e ICTH (*lag* 2). As anomalias dos ICTH's citados, provavelmente tiveram pesos superiores aos de temperaturas, provavelmente devido a influência da intensidade do vento nos *lag*'s 0 e 3. Já as anomalias positivas de pressão, no dia da consulta, e anomalias negativas de direção do vento, na véspera da consulta, mostram uma associação com a passagem de uma frente fria pela região e a presença de um centro de alta pressão atmosférica.

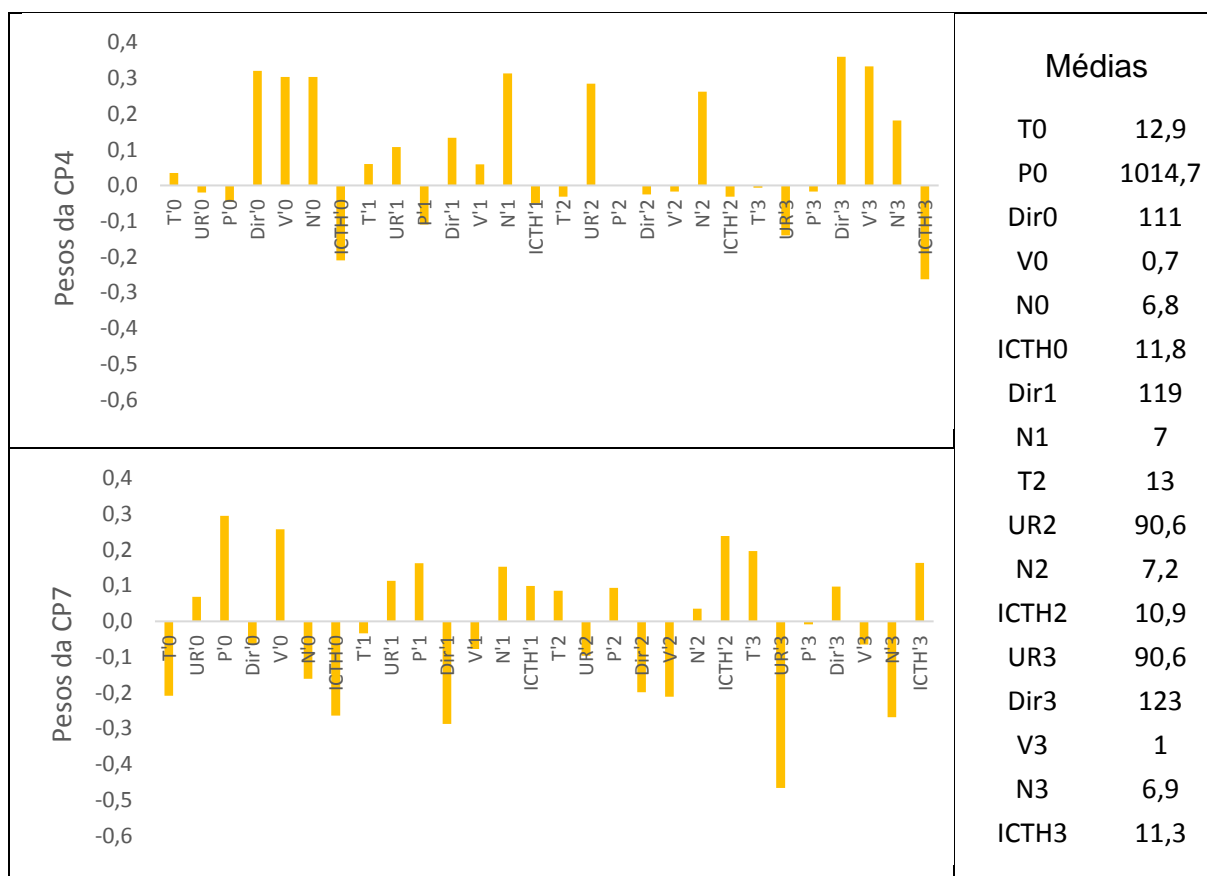


Figura 32 - Pesos referentes às componentes 4 e 7 e média das variáveis mais influentes nos períodos de junho a julho.

O modelo de regressão linear preditado pelas componentes 4 e 7 está exposto através da equação 26:

$$Freq_{est} = 19,43 - 1,27.CP_4 + 2,45.CP_7 \quad (26)$$

A representação gráfica do modelo encontrado, assim como as frequências de consultas para o período de junho e julho estão exibidas na figura 33, onde é notório uma redução no acompanhamento pelo modelo comparado aos períodos analisados anteriormente, concordando com a menor correlação, 0,297, entre as frequências estimadas e observadas. Novamente o modelo permaneceu mais próximo à média do que as variações dos números diários de consultas, cometendo as mesmas distorções que nos outros períodos.

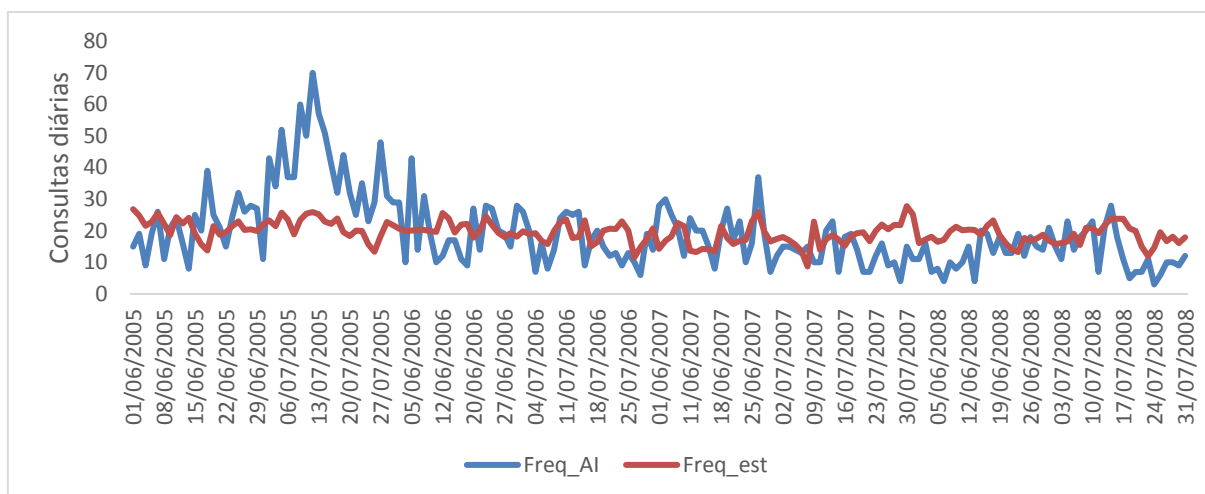


Figura 33 – Frequências diárias de consultas por Asma/IRA e frequências estimadas pelo modelo para os períodos de junho e julho.

A figura 34 mostra claramente que os maiores escores estão associados aos dias com mais consultas (P95-P100), logo o modelo acompanha melhor as maiores ocorrências no número diário de atendimentos. Abaixo de P95 não houve uma relação clara entre os escores e as frequências de consultas.

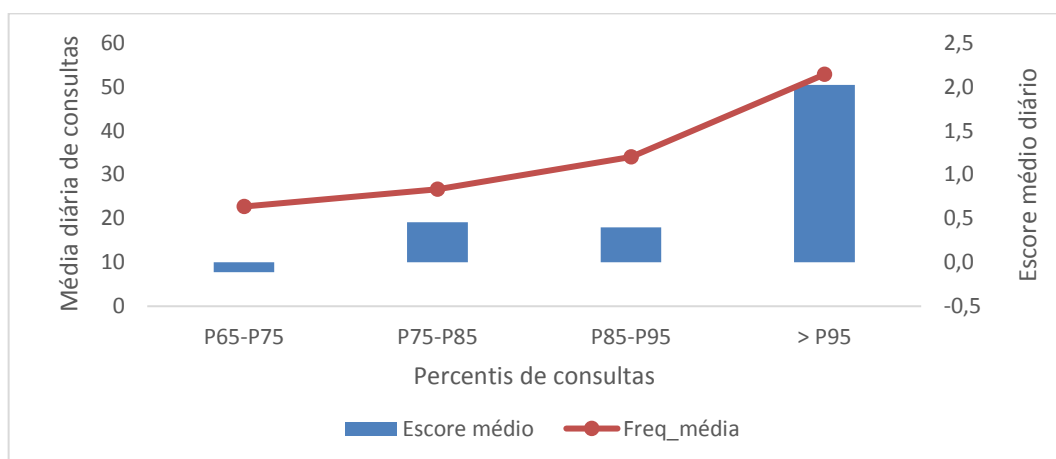


Figura 34 – Intervalos dos percentis das maiores ocorrências diárias, representados pelos escores médios e frequências médias de consultas para o período de junho e julho.

Conforme mencionado anteriormente, o comportamento das variáveis meteorológicas “respondem” parcialmente pela ocorrência dos problemas respiratórios. Mesmo que a variância explicada, associadas aos principais padrões de tempo, não tenham sido muito elevadas, os resultados foram satisfatórios, pois traduzem situações onde ocorreram aumento na procura por atendimentos ambulatoriais.

4.6 Estudo de Caso

Conforme analisado no item anterior, há vários padrões de tempo associados ao aumento das doenças respiratórias, onde cada um foi representado pelas anomalias de 28 variáveis meteorológicas (sete variáveis para quatro dias cada). Um determinado evento (dia com grande quantidade de consultas) dificilmente convergerá com todas essas características, porém alguns dos parâmetros meteorológicos apresentaram pesos maiores e tiveram supremacia sobre os demais, servindo, portanto, de referência para a caracterização de tempos específicos associados ao aumento das complicações respiratórias. Através do uso da técnica de análise de componentes principais foi encontrado na seção 4.6.1 um “padrão comum” de tempo para todo período estudado (janeiro de 2005 a setembro de 2008), o qual será analisado a seguir, através de estudo de caso.

4.6.1 Evento do dia 08 de julho de 2005

A fim de verificar o principal padrão de tempo associado às maiores morbidades respiratórias, analisou-se o dia 08 de julho de 2005. Ao longo desse data houveram 60 atendimentos de crianças por asma/bronquite ou IRA (a média diária foi 12) nos postos de saúde da cidade de Canoas/RS. Lembrando que o principal padrão de tempo correspondente às maiores complicações respiratórias para o período de janeiro de 2005 a setembro de 2008, esteve associado do *lag* 0 ao *lag* 3 às anomalias negativas de temperatura, positivas de umidade relativa e positivas de pressão atmosférica.

A figura 35 mostra os campos de temperatura e vento em 05/07/2005, três dias antes do aumento das consultas ambulatoriais (*lag* 3) às 12Z. É possível observar, através das isolinhas, que os ventos que chegam ao RS mostram uma tendência anticiclônica, influenciada pela presença de um sistema de alta pressão, cujo centro encontra-se sobre o sul da Argentina. Há grande quantidade de umidade na metade leste gaúcha, e menor teor de umidade na metade oeste, induzida pela aproximação de uma massa de ar frio, que entra pela região oeste do RS. Os ventos, frios, que chegam na região de Canoas vêm do leste uruguaio e argentino, passando em parte pelo Oceano Atlântico, o que induz um aumento na umidade em Canoas.

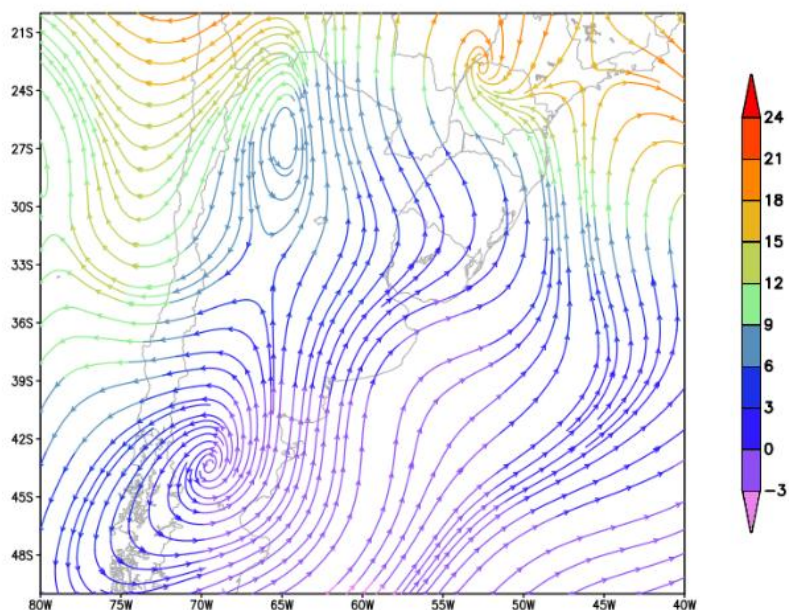


Figura 35 – Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 05/07/2005 às 12Z.

No dia seguinte (06/07/2005, *lag 2*), o sistema de alta pressão avança na direção NE, se aproximando do Estado do RS, ingressando pela região oeste (Figura 36). É possível observar, com relação à temperatura, que esta variável apresenta-se extremamente baixa, devido ao ingresso de ar frio no Estado pelo setor sul. A circulação anticiclônica intensifica a advecção de ar frio e úmido sobre a região, aumentando, por consequência, o stress térmico (ICTH) sobre a população.

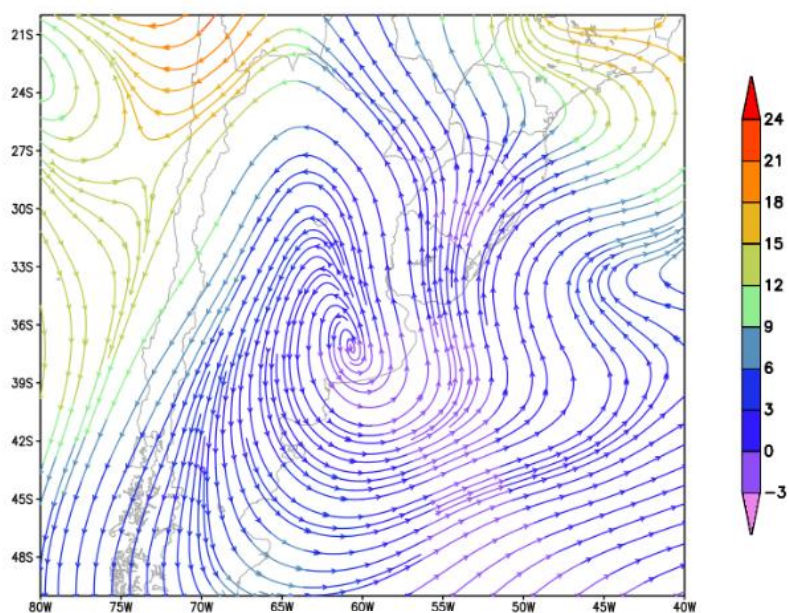


Figura 36 – Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 06/07/2005 às 12Z.

Na véspera das consultas (07/07/2005, *lag* 1), nota-se, através da figura 37, que o sistema de alta pressão influencia todo o Rio Grande do Sul, com uma circulação anticiclônica bem definida, cujo centro já está posicionado sobre o extremo sul do RS/litoral do Uruguai. Desta forma, a direção do vento sobre o Estado passa a assumir um valor cada vez menor, onde sua direção torna-se de leste, acarretando um maior transporte de ar frio e úmido (vindo do Oceano) para a região do Leste do Estado (Canoas).

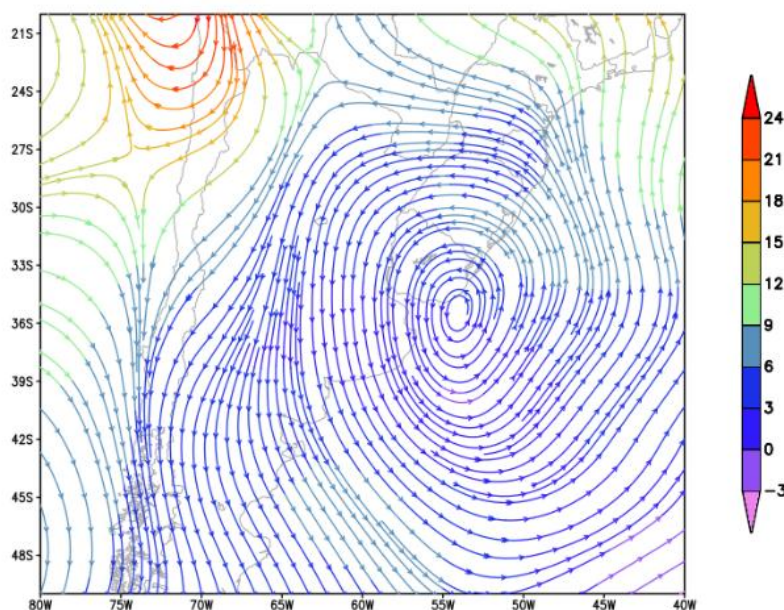


Figura 37 – Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 07/07/2005 às 12Z.

De maneira geral, analisando as figura 38 e figura 39, que mostram, respectivamente, o comportamento da temperatura e a trajetória seguida pela massa de ar (através do modelo HYSPLIT), desde três dias antes da consultas ambulatoriais (evento), observa-se que, o sistema de alta pressão permanece (no dia do evento; *lag* 0) influenciando o estado do RS e a região de Canoas (leste gaúcho). A circulação anticiclônica (e seu deslocamento) favorece(m) (ainda) a advecção de ar úmido do oceano para continente, o que associado ao ar frio induz a sensação de desconforto térmico e o consequente aumento das complicações respiratórias. É importante destacar que a principal influência das condições meteorológicas sobre a região de Canoas esteve associada, principalmente, à chegada de massas de ar polar marítima. Portanto, o evento do dia 08/07/2005 mostrou ser uma boa representação do comportamento das variáveis meteorológicas, referente a dias que apresentaram altos

valores de consultas ambulatoriais por problemas respiratórios. É importante destacar que cada condição meteorológica exerce certa influência (maior ou menor intensidade, tempo de resposta e representatividade na análise estatística), e assim, conforme forem atendidos seus critérios, torna-se possível estimar um "período favorável" ao aumento do número de consultas hospitalares (não sendo necessário satisfazer o critérios para todas as variáveis simultaneamente).

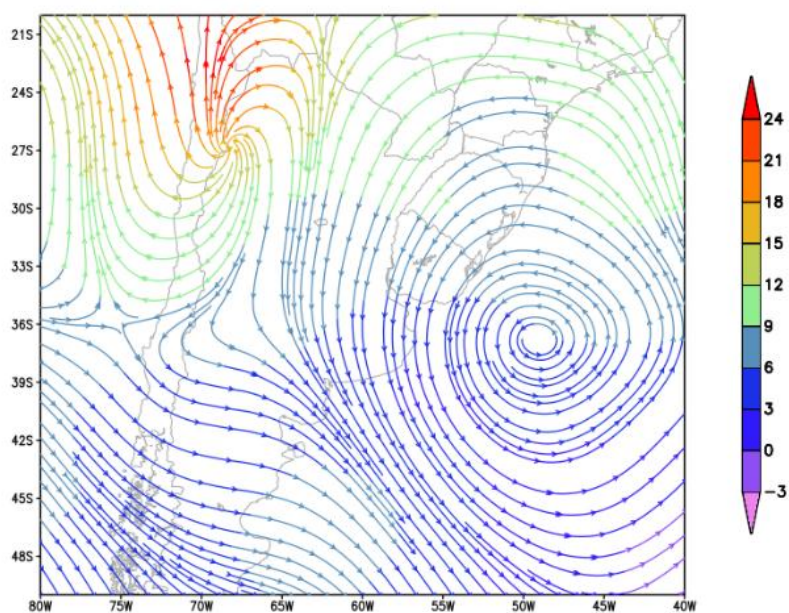


Figura 38 – Campos de linhas de corrente e temperatura em 925 hPa no dia 08/07/2005 às 12Z.

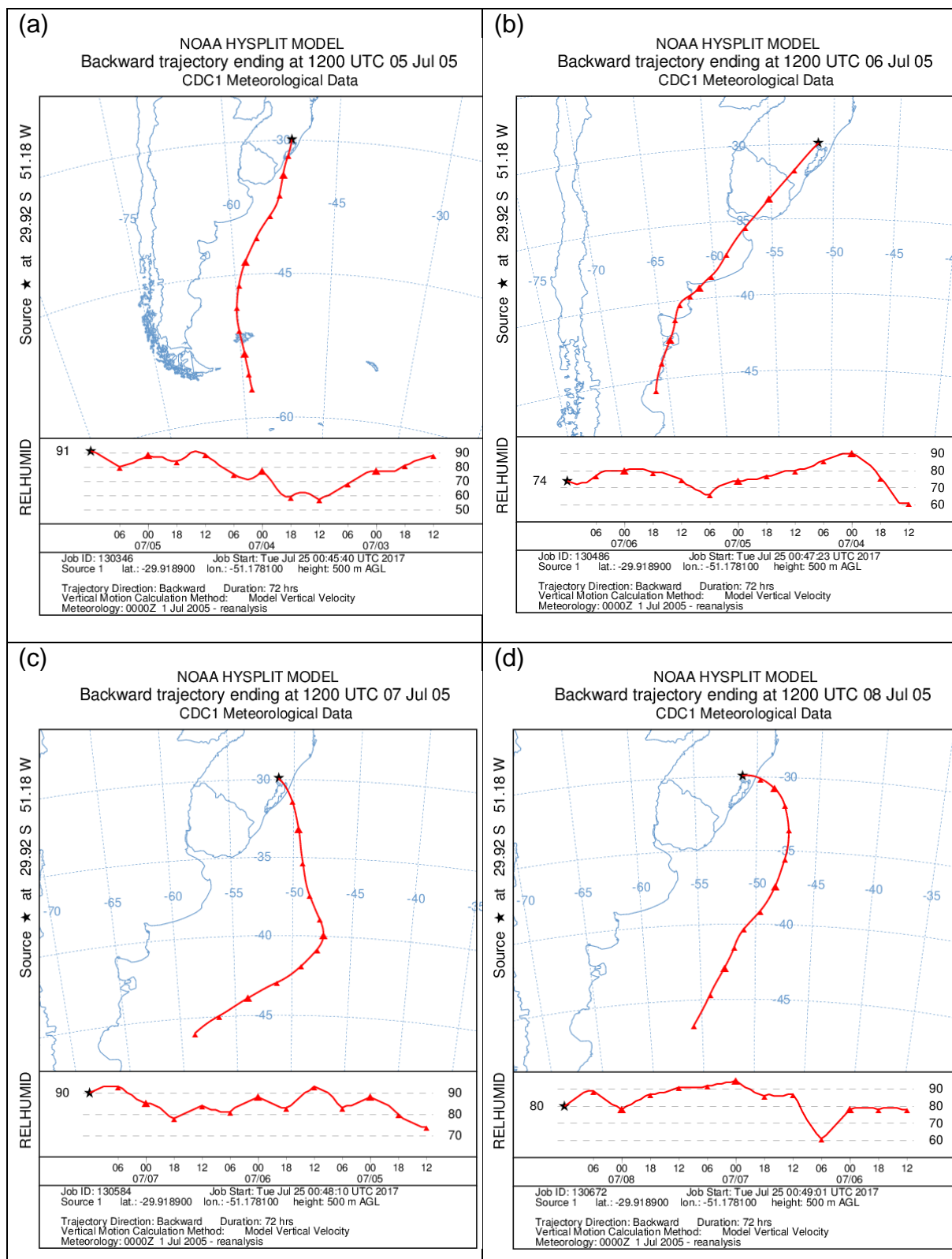


Figura 39 – Massas de ar que chegaram a Canoas (altura de 500m), às 12Z, em (a) 05/07/2005, (b) 06/07/2005, (c) 07/07/2005 e (d) 08/07/2005.

5 Conclusões

Analizando as consultas, entre os anos de 2005 a 2008, por problemas respiratórios das crianças (0 a 5 anos) de Canoas, Rio Grande do Sul, e as comparando com as variáveis ambientais, chegou-se as seguintes conclusões:

Os meses de maio a agosto foram os mais nocivos às complicações respiratórias, o oposto se verificou nos meses de verão.

Em relação ao sexo das crianças atendidas, tanto para Asma como IRA, os atendimentos ambulatoriais foram mais recorrente no sexo masculino.

O comportamento das variáveis meteorológicas, em relação às consultas respiratórias, foram mais influentes pelas manhãs do que pelas tardes.

A maioria das consultas estiveram associadas à sensação térmica de frio pelas manhãs, sofrendo considerável diminuição sob a sensação de conforto térmico.

As consultas mostraram uma certa sazonalidade mensal, onde o aumento das ocorrências coincidiram (em grande parte) com a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa médias pelas manhãs.

Dentro dos meses, a quantidade de consultas apresentaram muitas variações entre os dias. Onde a maioria das consultas estiveram bastante associadas, tanto no dia da consulta como nos três dias antecedentes, à manutenção da umidade relativa acima da média e temperatura abaixo da média, sendo que para esta também houveram muitas quedas (por vezes bruscas) associadas.

Embora os três grupos de doenças (Asma, IRA e Asma/IRA) tenham apresentado comportamentos semelhantes em relação às variáveis ambientais, a maior associação ocorreu com o grupo Asma/IRA, onde a principal influência se deu à queda de temperatura do ar no dia e na véspera das consultas, seguidas pelos aumentos da pressão atmosférica e umidade relativa do ar no dia e diminuição da sensação térmica dois dias antes das consultas.

Os maiores aumentos de consultas por Asma/IRA, considerando todo o período estudado e analisando a partir dos três dias anteriores às consultas até a data destas, estiveram associados, para todos os dias, a anomalias negativas de temperatura e índice de conforto térmico humano e positivas de pressão atmosférica e umidade relativa, portanto, o frio úmido mostrou-se mais nocivo às complicações respiratórias. Tais situações são obtidas através da aproximação/presença de sistemas de alta pressão (anticiclones pós frontais) sobre a região de Canoas, associadas a massas polar marítima/continental.

Para junho e julho, meses com mais consultas, os maiores aumentos estiveram associados a anomalias negativas de umidade relativa (com defasagem de três dias); a anomalias positivas de índice de conforto térmico humano (com defasagem de dois dias; evidenciando um aquecimento pré frontal na região); um dia antes da consulta à anomalia negativa de direção do vento (entre o quadrante norte/leste); e no dia da consulta à anomalia negativa do ICTH e positiva de pressão atmosférica e de velocidade do vento, mostrando um resfriamento pós frontal sobre a região.

Quanto aos poluentes CO e PM10, considerando todo o período de estudo, Jan 2005/Set 2008, a maior influência se deu com relação ao comportamento 5 dias antes da ocorrência da consulta (CO), e no dia da consulta (PM10). Dessa maneira, embora com dados de apenas uma estação de qualidade do ar para cada poluente (pontual), e para uma cidade de porte grande, pode-se supor que os poluentes atmosféricos CO e PM10 influenciam (influenciaram) nas ocorrências de enfermidades respiratórias de crianças, no entanto, o mais apropriado, a fim de se obter uma conclusão mais precisa seria a existência de uma série de dados de poluição do ar mais completa e com mais de uma estação para cada poluente.

Os modelos criados, para diferentes períodos, mostraram ser boas representações da busca por atendimento, uma vez que explicam apenas a relação meteorológica/poluição com as consultas, sem levar em consideração as (inúmeras) variáveis pessoais, porém, não foi realizado no presente trabalho a comparação entre as equações/modelo proposta (o) e períodos fora do domínio dessa pesquisa (estudo retrospectivo). Contudo podem futuramente, fornecer subsídios necessários para a construção de um modelo preditivo de consultas por problemas respiratórios para o município de Canoas, RS.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Criar um "modelo preditivo", a partir da validação dos resultados encontrados e desenvolver parcerias para sua aplicação, a fim de mitigar o impacto do tempo à saúde de crianças;
- Desenvolver para outras cidades do RS o mesmo estudo, a fim de verificar a semelhança e influência entre períodos e condições de tempo;
- Testar a mesma metodologia neste trabalho para a população idosa (acima de 60 anos), assim como, buscar outras fontes de poluição para análise (inventário de emissões).

Publicação realizada durante a execução deste estudo

ROJAHN, I. S.; NEDEL, A. S. Análise descritiva de períodos favoráveis à ocorrência de doenças respiratórias em crianças na cidade de Rio Grande, RS – Brasil. In: Encontro dos alunos de pós-graduação em meteorologia do CPTEC/INPE, 15.2016, Cachoeira Paulista - SP. **Anais do...** Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 2016. p. 35.

ROJAHN, I. S.; NEDEL, A. S. Excesso de atendimento por asma ou bronquite em crianças na cidade de Canoas, RS e a associação com variáveis meteorológicas. In: Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Ambiência, Comportamento e Bem-Estar Animal, 7.2017, Jaboticabal - SP. **Trabalhos online...** Disponível em:
< http://www.sbbiomet.org.br/trabalhos-congresso/artigo_igor_rojahn_da_silva_792751498397513.pdf >

ROJAHN, I. S.; NEDEL, A. S.; NOLASCO JR, L. R. Influência dos parâmetros meteorológicos na morbidade respiratória durante o ano de 2005 para as crianças da cidade de Canoas-RS. In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 10.2017, Santa Maria – RS. **Anais do...** Santa Maria: UFSM, 2017.

ROJAHN, I. S.; NEDEL, A. S. Relação entre o comportamento mensal das variáveis meteorológicas e as doenças respiratórias em crianças na cidade de Canoas-RS. In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 10.2017, Santa Maria – RS. **Anais do...** Santa Maria: UFSM, 2017.

Referências

ABEGUNDE, D. **Inefficiencies due to poor access to and irrational use of medicines to treat acute respiratory tract infections in children: World health report**. Background paper, n. 52, 2010. 10p.

Disponível em:

<<http://www.who.int/healthsystems/topics/financing/healthreport/BP52ARIFINAL.pdf>>.

Acesso em: 10 jun. 2016.

ANDREOLI, T. E., BENNETT, J. C., CARPENTER, C. C., PLUM, F., SMITH, L. H. Doenças respiratórias. In: **Medicina Interna Básica**. 3 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1993. p. 104-150.

ARBEX, M. A.; MARTINS, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; PEREIRA, L.A.; ARBEX, F. F.; CANÇADO, J. E. Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. **J Epidemiol Community Health**, v. 61, n. 5, p. 395–400, 2007.

ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643–655, 2012.

ARROYABE, P. F.; LECHA, L.; SCHMIDT, F. Desarrollo de servicios climáticos orientados hacia la salud pública, basados en aplicaciones móviles: OxyAlert. In: Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, 24. 2015, Zaragoza, España. **Anais do...** Zaragoza, 2015. p. 591-599.

ASHRAE Standard. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning engineers**. Atlanta, GA, USA, 2004.

AZEVEDO, J. M. F. **A influência das variáveis ambientais (meteorológicas e de qualidade do ar) na morbidade respiratória e cardiovascular na Área Metropolitana do Porto**. 2010. 145 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRAGA, A.L.F.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; PEREIRA, L.A.A.; KISHI, H. S.; PEREIRA, J. C. R.; ANDRADE, M. F.; GONÇALVES, F. L. T.; SALDIVA, P.H.N.; LATORRE, M. R. D.O. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. **J Environ Med**, v. 1, n. 2, p. 95-102, 1999.

BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; MENEZES, J.J.C.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; LIN, C.A.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W. Health Effects of Air Pollution Exposure on Children and Adolescents in São Paulo, Brazil. **Pediatric pneumology**, v. 31, p. 106-113, 2001.

BRAUN, S. **Influências meteorológicas nas doenças cardiovasculares na cidade de São Paulo**. 2003. 134p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRAZ, J. R. C. Fisiologia da termorregulação normal: Thermoregulation. **Revista Neurociências**. v. 13, n. 3 (supl-versão eletrônica), p. 12 -17, jul/set, 2005.

BUCHER, K.; HASSE, C. Meteorotropy and medical-meteorological forecasts. **Rev. Experientia**, Part I, v. 49, n. 9, p. 759–768, 1993.

CARDOSO, M.R.A. **Micro-clima nos domicílios e doenças sibilantes na cidade de São Paulo**. 2007. 103 f. Tese (Livre Docência em Epidemiologia), FSP-USP, São Paulo.

CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. F.; MENDONÇA, F. Clima urbano e dengue: uma introdução a partir da análise do campo térmico de Maringá/PR e Campo Grande/MS. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 2, n.5, p.735–748, 2012.

CONAMA. Resolução 03/1990.

Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> >. Acesso em: 13 jun. 2016.

COELHO, M. S. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas de São Paulo, USP, São Paulo.

CONDE, F.C. **Uma análise de componentes principais de efeitos ambientais sobre a morbidade de doenças respiratórias em São Paulo**. 2001, 122p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo.

DATASUS. CID-10. Disponível em:

<http://www.datasus.gov.br/cid10/V2008/WebHelp/j00_j99.htm>. Acesso em: 29/12/2016.

DATASUS. Tabnet. Disponível em:
<<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?idb2010/d13.def>>. Acesso em:
29/12/2016.

DEAR, R. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**. v. 14, n.s7, p. 32-39,2004.

DRAXLER, R. R.; HESS, G. D. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. **Australian Meteorological Magazine**, v. 47, p. 295–308, 1998.

ESTRADA, A.; MOYA, A.; L, B.; LECHA; E, CIÓMINA. Los pronósticos biometeorológicos: una vía para reducir las crisis de salud en la población cubana. In: Congreso Cubano de Meteorología, 4. 2007 La Habana, **Anais do...La Havana**, 2007. p. 4-8.

FANGER, P.O. "**Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**". New York: McGraw Hill Book Company, 1970. 244p.

GINA (2006) - Global Strategy for Asthma Management and Prevention - Asthma Management and prevetion - Chapter4 - The GINA reports. Disponível em:
<<http://www.ginasthma.org>>. Acesso em: 21/02/2007.

GIVONI, B.; **Man, climate and Architecture**. 2 ed. London: Applied Science. 1976. 483p.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E. Aplicação do Índice de Temperatura Efetiva com Vento (TEV) nos estudos de conforto térmico para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 403 – 413, 2012.

GONÇALVES, F.L.T.; CARVALHO L.M.V.; CONDE, F.C.; LATORRE, M.R.D.O; SALDIVA, P.H.N.; BRAGA A.L.F. The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo city. **Environmental International**. v. 31, p. 343-349. 2005.

GONÇALVES, F.L.T.; BRAUN, S; DIAS, P.L.D.S; SHARVSY, R. Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of Sao Paulo. **Environmental research**. v. 104, n. 2, p. 275-281. 2007.

GOUVEIA, N.; FREITAS, C.U.; MARTINS, L.C.; MARCÍLIO, I.O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro**, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006.

HAMADA, S. **Climatologia do conforto térmico humano na cidade de Pelotas**. 2014. 70f. Monografia (Conclusão de curso, Graduação em Meteorologia) - Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HOLLOWAY, K.; DIJK, L. V. **Rational use of medicines**. The world medicines situation 2011. Geneva, 2011. 24p. Disponível em:
<<http://apps.who.int/medicinedocs/documents/s18064en/s18064en.pdf>>. Acesso: 10 jun. 2016.

HONDULA, D. M.; DAVIS, R.E.; KNIGHT, D.B.; SITKA, L.J.; ENFIELD, K.; GAWTRY, S.B.; STENGER, P.J.; DEATON, M.L.; NORMILE, C.P.; LEE, T.R. A Respiratory Alert Model for the Shenandoah Valley, Virginia, USA. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, n. 1, p. 91-105, 2012.

HÖPPE, P. Aspects of human biometeorology in past, present and future. **International Journal of Biometeorology**, v. 40, n. 1, p. 19-23, February, 1997.

HÖPPE, P. R. The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, n. 43, p. 71-75, 1999.

IBGE (2017). IBGE – Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 mar. 2017.

International Society Biometeorology. Definição e classificação de biometeorologia. Disponível em: <http://biometeorology.org>. Acesso em: 01 jun. 2016.

JAMASON, P.F.; KALKTEIN L.S.; GERGEN, P.J. A sinoptical evaluation of asthma hospital admission in New York City. **Americal Journal Critical Care Medicine**. v. 156, n. 6, p 1781-1788, 1997.

JASINZKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Air pollution and pediatric hospital admissions due to respiratory diseases in Cubatão, São Paulo State, Brazil, from 1997 to 2004 **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 11, p. 2242-2252, nov, 2011.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. **Air quality and health**. Lausanne: European Respiratory Society; 2010. 72p.

LECHA, L.; T. DELGADO. On a regional health watch and warning system. In: Int. Congress of Biometeorology, 14. 1996, Ljubljana, Slovenia. **Anais do...** Ljubljana, 1996. v. 3, p. 94-107.

LECHA, L. B. Biometeorological classification of daily weather types for the humid tropics. **Int. J. Biometeorol.**, v. 42, n. 2, p. 77-83, 1998.

LECHA, L. B; PEÑA, A. R. M.; SÁNCHEZ, H. U. R; CELIS, A. Validación del servicio de pronósticos biometeorológicos en el estado de Jalisco, México. Parte 1: el modelo numérico y sus características. In: Congreso de la Organización Mexicana de Meteorólogos, 22.2013, A.C., At Veracruz, México. **Anais do...** Veracruz, México, 2013, n. 19.

LOPES, F. N. **Associação entre condições meteorológicas de inverno e doenças respiratórias em crianças na cidade de Pelotas-RS**. 2015. 72 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MAIA, J. A.; GONÇALVES, F. L. T. Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de Iguazu-PR, 2002. **Trabalhos on-line...** Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/11-19f8631710445b997afeb613926e2b0.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2016.

MAIA, J. A. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de São Paulo**. 2002. 134 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARTINS, M.C.H. **Avaliação de interação entre poluição atmosférica e variáveis socioeconômicas como agravantes das condições de saúde no município de São Paulo: um estudo de ecologia humana**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde), FM-USP, São Paulo.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Qualidade do ar. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas: parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. IN: Encontro Nacional, 9., Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 5.2007, Ouro Preto-MG. **Anais do...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 1231-1240.

NASCIMENTO, A.P.; SANTOS, J. M; MILL, J. G.; SOUZA J. B. JUNIOR, N. C. R. REISEN, V. A. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, n. 3, p. 1-10, 2017.

NASTOS, P.T.; MATZARAKIS, A. Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. **International journal of biometeorology**, v. 50, p. 358-369, 2006.

NEDEL, A. S. **Condições Meteorológicas Favoráveis à Ocorrência de Doenças Respiratórias em Crianças da Cidade de São Paulo**. 2008. 195 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NOAA (2016). Heat Index. Disponível em: < https://www.weather.gov/gjt/heat_index>. Acesso em: 04 jul. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Poluição e riscos ambientais matam 12,6 milhões de pessoas por ano, aponta pesquisa da OMS**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/poluicao-e-riscos-ambientais-matam-126-milhoes-de-pessoas-por-ano-aponta-pesquisa-da-oms/>>. Acesso em: 14 jun. 2016.

PARSONS, K. **Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance**. 2 ed. London: Taylor and Francis, 2003. 560 p.

PEREIRA FILHO, M.A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, F. F.; ARBEX, M., CONCEIÇÃO, G. M.; SANTOS, U.P.; LOPES, A. C.; SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F; CENDON, S. Effect of air pollution on diabetes and cardiovascular diseases in São Paulo, Brazil. **Braz J Med Biol Res**, v. 41, n. 6, p. 526–532, june, 2008.

PIVA, J. P.; GARCIA, P. C. R.; SANTANA, J. C. B.; BARRETO, S. S. M. Insuficiência respiratória na criança. **J Pediatr**, v. 74, supl. 1, p. S99-S112, 1998.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS (2008). Notícias. Disponível em: <<http://canoas.rs.gov.br/site/noticia/visualizar/id/105030>>. Acesso em: 12 ago 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CANOAS (2017). Apresentação de Canoas. Disponível em: <<http://www.canoas.rs.gov.br>>. Acesso em: 28 mar 2017.

PETROU, I.; DIMITRIOU, K.; KASSOMENOS, P. Distinct atmospheric patterns and associations with acute heat-induced mortality in five regions of England. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, p. 1413–1424, 2015.

PRIETSCH, S. O. M.; FISCHER, G. B.; CESAR, J. A.; FABRIS, A. R.; MEHANNA, H.; FERREIRA, T. H. P.; SCHEIFER, L. A. Doença aguda das vias aéreas inferiores em menores de cinco anos: influência do ambiente doméstico e do tabagismo materno. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 5, p. 415-422, 2002.

ROTHFUSZ, L. P. The heat index “equation” (or, more than you ever wanted to know about heat index). Technical Attachment, SR 90–23, **National Weather Service**, USA, 1990.

RUSTICUCCI, M.; HARRIS, M.; BETTOLLI, M. Association between weather conditions and the number of patients at the emergency room in an Argentine hospital. **International Journal of Biometeorology**, p. 42-51, 2001.

SALDIVA, P. H. N.; LICHTENFELS, A. J. F. C.; PAIVA, P.S.O.; BARONE, I. A.; MARTINS, M. A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J. C. R.; XAVIER, V. P.; SINGER, J. M.; BOHM, G. M. Association between Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases in Children in São Paulo, Brazil: A Preliminary Report. **Environmental research**, v. 65, n. 2, p. 218-225, 1994.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. S. Evolução dos modelos climáticos e de previsão do tempo e clima. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 41–54, 2014.

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Revista Terra Livre**, v. 2, n. 20, p. 27–49, 2003.

SHAROVSKY, R.; 2001. **Efeitos da temperatura e poluição do ar na mortalidade por infarto do miocárdio no município de São Paulo**. São Paulo – SP. 86p. Tese de doutorado – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo.

SILVA, A. J. Dispersão de Poluentes. Disponível em: <<ftp://ftp-acd.puc-campinas.edu.br/pub/professores/ceatec/arivaldosilva/Aulas%20-%20Polui%E7%E3o%20Atmosf%E9rica/aulas/>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

SILVA, A. M. **Conforto térmico de habitações em função do padrão construtivo**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SOUZA, A.; GUO, Y.; PAVÃO, H.G.; FERNANDES, W.A. Effects of Air Pollution on Disease Respiratory: Structures Lag. **Health**, v. 6, p. 1333-1339, 2014.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: a Temperature-Humidity Index based on Human Physiology and Clothing Science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, p. 861–873, july, 1979.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L.; Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. **Int J Biometeorol**, v. 36, p. 63-68, 1992.

ULBRA-TO, DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA. Sistema Respiratório. Disponível em: <<http://ulbra-to.br/morfologia/2011/08/17/Sistema-Respiratorio>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

University of Texas at Austin. Disponível em: <<http://www.zo.utexas.edu/faculty/sjasper/images/f30.6.jpg>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

WANG, Z.; NING, H.; JI, Y.; HOU, J.; HE, Y. Human thermal physiological and psychological responses under different heating environments. **Journal of Thermal Biology**, v. 52, p. 177-186, 2015.

World Health Organization. **Adherence to long-term therapies: evidence for action**. 2003. 211p. Disponível em: <http://www.who.int/chp/knowledge/publications/adherence_full_report.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.