

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



Dissertação

**ANÁLISE DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM REGIÕES HOMOGÊNEAS DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

NAILE NUNES VAGHETTI

Pelotas, 2011

NAILE NUNES VAGHETTI

**ANÁLISE DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM REGIÕES HOMOGÊNEAS DO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Gilberto Barbosa Diniz

Co-Orientador: João Baptista da Silva

Pelotas, 2011

Dados de catalogação na fonte:
Maria Beatriz Vagheti Vieira – CRB-10/1032
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

V126a

Vagheti, Naile Nunes

Análise da umidade relativa do ar em regiões homogêneas do estado do Rio Grande do Sul / Naile Nunes Vagheti. – 98 f. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2011. – Orientador Gilberto Barbosa Diniz, co-orientador João Baptista da Silva.

1.Meteorologia. 2.Climatologia. 3.Umidade relativa do ar. 4.Análise de agrupamento. 5.Método de ward. 6.Tendência linear. 7.Análise harmônica. 8. Rio Grande do Sul. I.Diniz, Gilberto Barbosa. II. Silva, João Baptista. III.Título.

CDD: 551.57198165

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz (Orientador)

Prof. Dr. João Baptista da Silva (Co-Orientador)

Prof. Dr. Júlio Marques (UFPel)

Prof. Dr. Dágnon da Silva Ribeiro (IFSul)

Dedico:
Este trabalho ao meu marido Jober.

Agradecimentos

A Deus por me iluminar e conduzir sempre pelos caminhos certos da vida.

A Santa Júlia Billiart, a qual sou devota, por abençoar minha vida.

Ao meu marido Jobert, pelo carinho, compreensão e incentivo.

Aos meus Pais e meu Irmão Carlos, pelo carinho e apoio.

Ao Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz, orientador, por sua dedicação, paciência, apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. João Baptista da Silva, co-orientador, por sua amizade e dedicação demonstradas nas várias vezes em que nos reunimos, e por seus ensinamentos, os quais contribuíram de forma fundamental para realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Pelotas (UFPEl) pela oportunidade da realização do Curso de Pós-Graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Dágnon Ribeiro e Prof. Dr. Júlio Marques, por suas valiosas sugestões oferecidas para a melhoria do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus queridos colegas, Cristiano Eichholz, Cristiano Cardoso, Eliane Barbosa, George Uguim e Gustavo Cuchiara, pela amizade, apoio e carinho.

A todos os professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, pelo apoio e dedicação.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento. É o seu bem mais precioso.”

Albert Einstein

RESUMO

VAGHETTI, Naile Nunes. **Análise da Umidade Relativa do Ar em Regiões Homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul**. 2011. 98f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O conhecimento da umidade relativa do ar e de suas interações com outras variáveis ajuda no planejamento das mais diversas atividades, tais como: a operação de sistemas de aeração de grãos e sementes armazenadas, a climatização de ambientes para criação de animais e a manutenção do conforto ambiental. O Estado do Rio Grande do Sul (RS), em função de sua posição geográfica, é uma região que sofre bastante a influência de sistemas meteorológicos, sendo que o comportamento da umidade relativa carece de estudos mais aprofundados. O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento da umidade relativa em regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando dados de médias mensais de 26 estações meteorológicas, do período de 1975 a 2009. Para isto, foram determinadas regiões homogêneas por meio da Análise de Agrupamento, sendo utilizado como método de agrupamento o método de Ward, o qual mostrou a melhor coerência com as características climáticas do Estado, sendo obtidas quatro regiões: R_1 , R_2 , R_3 e R_4 . Para todas as regiões, fez-se um estudo climatológico através de parâmetros estatísticos com a finalidade de se observar a variabilidade climática desta variável. A distribuição espacial da umidade relativa permitiu observar que esta tem um padrão elevado em todo o Estado, sendo a região litorânea a mais úmida. A umidade relativa apresenta, somente nas Regiões 2 e 3, tendência linear significativa ao longo do tempo, com aumentos mensais de 0,006% e 0,005%, respectivamente. O longo dos 35 anos, o aumento mensal total foi de 2,52% para a Região 2 e 2,1% para a Região 3. Aplicou-se também aos dados de umidade relativa a técnica de análise harmônica. Os modelos propostos por esta análise harmônica expressaram a sazonalidade dos dados com mais de 80% de representatividade, utilizando para isto, duas ou três ondas senoidais.

Palavras-Chaves: Umidade Relativa do Ar, Análise de Agrupamento, Método de Ward, Tendência Linear, Análise Harmônica.

ABSTRACT

VAGHETTI, Naile Nunes. **Analysis of the Relative Humidity in Homogeneous Regions of Rio Grande do Sul**. 2011. 98f. Thesis (MA) – Post-Graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The knowledge of relative humidity and its interactions with other variables helps plan of various activities, such as the operation of aeration systems for storing grain and seed, the cooling of environments for breeding and maintenance for environmental comfort. The Rio Grande do Sul state, in function of its geographical position, is a region strongly influenced by meteorological systems, in which the behavior of the relative humidity needs further study. The objective of this work was the study of the relative humidity behavior in the state of Rio Grande do Sul, was used data from monthly averages of 26 meteorological stations in the period 1975 to 2009. For this purpose, the homogeneous regions were determined through analysis of grouping and the grouping method of Ward that has better consistent with the climatic characteristics of the state, in which has been obtained four regions: R₁, R₂, R₃ e R₄. For all regions, was made a climatologically study through statistical parameters in order to analyze the climatic variability of this variable. The spatial distribution of relative humidity allowed observing that it has a high pattern in the entire state, being the coastal region the most humid. The relative humidity has only in Regions 2 and 3, a significant linear trend over time, with monthly increase of 0.006% and 0.005%, respectively. During the thirty five years, the monthly increase was 2.52% for the region 2 and 2.1% for the region 3. Was also applied the technique of harmonic analysis to humidity relative data. The proposed models of this harmonic analysis expressed the seasonality of this data with more than 80% of representatively, using for this, two or three sine waves.

Key words: Relative Humidity, Cluster Analysis, Method of Ward, Linear Trend, Harmonic Analysis.

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1	Mapa topográfico do RS.....	19
Figura 2	Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul com a respectiva distribuição topográfica.....	34
Figura 3	Representação gráfica de A_k , a_k , p_k e q_k	49
Figura 4	Diagrama para determinação do ângulo-fase.....	52
Figura 5	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Janeiro, no período de 1975 a 2009.....	58
Figura 6	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Fevereiro, no período de 1975 a 2009.....	58
Figura 7	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Março, no período de 1975 a 2009.....	59
Figura 8	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Abril, no período de 1975 a 2009.....	59
Figura 9	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Maio, no período de 1975 a 2009.....	60
Figura 10	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Junho, no período de 1975 a 2009.....	60

Figura 11	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Julho, no período de 1975 a 2009.....	61
Figura 12	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Agosto, no período de 1975 a 2009.....	61
Figura 13	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Setembro, no período de 1975 a 2009.....	62
Figura 14	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Outubro, no período de 1975 a 2009.....	62
Figura 15	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Novembro, no período de 1975 a 2009.....	63
Figura 16	Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Dezembro, no período de 1975 a 2009.....	63
Figura 17	Dendrograma do agrupamento obtido através do método de Ward com dados de umidade relativa média mensal das 26 estações meteorológicas do Estado do RS para o período de 1975 a 2009.....	65
Figura 18	Regiões homogêneas de UR média mensal no Estado do Rio Grande do Sul, período de 1975 a 2009.....	67
Figura 19	Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 1, no período de 1975 a 2009.....	69
Figura 20	Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 2, no período de 1975 a 2009.....	70
Figura 21	Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 3, no período de 1975 a 2009.....	71
Figura 22	Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 4, no período de 1975 a 2009.....	72

Figura 23	Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 1 para o período de 1975 a 2009.....	78
Figura 24	Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 2 para o período de 1975 a 2009.....	79
Figura 25	Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 3 para o período de 1975 a 2009.....	79
Figura 26	Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 4 para o período de 1975 a 2009.....	80
Figura 27	Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 1, comparado com o modelo harmônico.....	85
Figura 28	Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 2, comparado com o modelo harmônico.....	86
Figura 29	Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 3, comparado com o modelo harmônico.....	88
Figura 30	Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 4, comparado com o modelo harmônico.....	89

Lista de Tabelas

	Pág.
Tabela 1	Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas, altitude e instituições a que pertencem.....
	35
Tabela 2	Posição do ângulo-fase segundo os sinais dos coeficientes p_k e q_k
	52
Tabela 3	Regiões homogêneas obtidas do agrupamento da umidade relativa do ar média mensal do Estado do RS e as estações meteorológicas pertencentes a cada uma delas, no período de 1975 a 2009.....
	66
Tabela 4	Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 1 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.....
	69
Tabela 5	Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 2 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.....
	70
Tabela 6	Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 3 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.....
	71
Tabela 7	Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 4 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.....
	72

Tabela 8	Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região homogênea 1, para o período de 1975 a 2009.....	74
Tabela 9	Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região homogênea 2, para o período de 1975 a 2009.....	74
Tabela 10	Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região homogênea 3, para o período de 1975 a 2009.....	75
Tabela 11	Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região homogênea 4, para o período de 1975 a 2009.....	75
Tabela 12	Cálculo do aumento mensal da UR para as Regiões que apresentaram tendências lineares significativas para o período de 420 meses.....	80
Tabela 13	Dados ajustados das médias de umidade relativa média mensal.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Análise de Agrupamento
abr	Abril
ACP	Análise de Componentes Principais
ago	Agosto
AH	Análise Harmônica
C	Cochran
dez	Dezembro
e	Pressão atual do vapor
e _s	Pressão de vapor saturado
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuária
fev	Fevereiro
jan	Janeiro
jul	Julho
jun	Junho
KS	Kolmogorov-Smirnov
maio	Maio
mar	Março
mPa	Massa Polar Atlântica
nov	Novembro
out	Outubro
RH	Regiões Homogêneas
RS	Rio Grande do Sul
set	Setembro
UR	Umidade relativa do ar

Sumário

	Pág.
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Características da região em estudo.....	19
2.2 Importância do conhecimento da umidade do ar na atmosfera.....	21
2.2.1 Umidade Relativa do Ar.....	24
2.3 Análise de Agrupamento.....	27
2.4.Tendência Linear.....	29
2.5 Análise Harmônica.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1 Dados Meteorológicos.....	34
3.2 Fundamentação Teórica da Análise Multivariada.....	36
3.2.1 Análise de Agrupamento.....	37
3.2.2 Função de Agrupamento.....	38
3.2.3 Distância Euclidiana e Métodos de Agrupamento.....	38
3.3 Testes de Homogeneidade de Variâncias e de Normalidade.....	43
3.3.1 Teste de Cochran para a Homogeneidade de Variâncias.....	43
3.3.2 Teste de Kolmogorov-Smirnov para a Normalidade.....	44
3.3.3 Tendência Linear dos Dados.....	44
3.4 Análise Harmônica.....	45
3.4.1 Ajustamento dos Dados.....	46
3.4.2 Transformações de Dados.....	46
3.4.3 Estacionaridade.....	47
3.4.4 Funções Periódicas.....	47
3.4.5 Modelo Matemático.....	48
3.4.6 Representatividade do modelo.....	54

3.5 Etapas realizadas neste trabalho.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Análise dos mapas de isolinhas de umidade relativa do ar para todos os meses do ano.....	57
4.2 Estudo das Regiões Homogêneas.....	64
4.2.1 Climatologia das Regiões Homogêneas.....	68
4.2.2 Climatologia das Regiões Homogêneas através de Parâmetros Estatísticos.....	73
4.3 Estudo da Tendência Linear.....	76
4.4 Estudo da Análise Harmônica.....	81
5 CONCLUSÃO.....	91
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

Para um bom planejamento de qualquer atividade econômica ou social em uma região, torna-se importante o conhecimento dos recursos naturais. O clima exerce ação sobre todos os componentes bióticos do ambiente natural e influencia nas atividades humanas.

A umidade do ar refere-se à presença de vapor d'água na atmosfera. Sendo este proveniente da evaporação e da evapotranspiração, cuja intensidade depende principalmente da radiação solar, da extensão da superfície evaporante e da atuação do vento.

O vapor d'água influencia no clima porque ao absorver as radiações do Sol e da Terra desempenha o papel de regulador térmico. Ele é importante também porque interfere no conforto humano (ar muito seco ou muito úmido). Além disso, é o único constituinte da atmosfera que muda de estado em condições naturais e, conseqüentemente, é responsável pela origem das nuvens e por seus fenômenos atmosféricos importantes como chuva, neve, nevoeiro, orvalho etc.

A umidade relativa é definida como sendo a relação entre a quantidade de vapor d'água existente no ar e a quantidade necessária para a saturação do ar em condições constantes de temperatura e pressão.

Das diversas grandezas meteorológicas, destaca-se que a umidade relativa do ar tem importância fundamental em muitas práticas agropecuárias, ou seja, influencia no crescimento das plantas, na conservação de sementes e grãos armazenados, nos cultivos em estufas, no conforto térmico de animais confinados e também em projetos de ambientes termicamente equilibrados.

O Rio Grande do Sul, principalmente a metade Sul do Estado, devido à sua posição geográfica margeado a leste pela Laguna dos Patos, um importante reservatório de água, e por ter uma topografia relativamente plana com muitos banhados, destacando-se o Banhado da Reserva do Taim bem como a Lagoa Mirim, sofre bastante influência de massas de ar úmida.

Mota (1975) observa que a alta umidade relativa atmosférica tem no mínimo dois efeitos benéficos possíveis no crescimento das plantas, pois muitas plantas podem diretamente absorver umidade do ar saturado e, além disso, o nível fotossintético das plantas cresce com a umidade, sob a ação da luz. Mas, se o ar saturado persiste por muitas semanas ocasiona completa interrupção na transpiração, causando assim, danos à planta.

Quanto ao armazenamento de grãos, altos teores de umidade podem ocasionar o desenvolvimento de fungos, enquanto que grãos relativamente secos, isto é, com teor de água inferior a 14%, correm o risco de ataque de insetos (LASSERAN, 1981).

Para o estudo de uma variável meteorológica sobre uma determinada área em que estejam envolvidos dados de vários pontos de observação (estações meteorológicas) é preciso recorrer-se as técnicas estatísticas apropriadas, como por exemplo, a análise multivariada. Dentro da análise multivariada existem várias técnicas, como: a análise das componentes principais (ACP), a análise de agrupamento (AA) e outras.

Vários autores utilizaram a técnica de AA em seus trabalhos (BAPTISTA da SILVA et al., 2001; DINIZ, 2002), por ser o melhor método para a classificação climática de determinada região e também por não ser um método restrito somente à meteorologia, mas utilizado em outras áreas do conhecimento, como na medicina, biologia, agronomia etc.

Sobre umidade relativa do ar existem poucos trabalhos, e para o Estado do Rio Grande do Sul estes são raros, principalmente no que se refere a uma climatologia mais detalhada desta variável.

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da umidade relativa em regiões homogêneas do Estado do RS, contribuindo para o planejamento das atividades que dependem dessa variável e gerando subsídios para outros estudos.

Para este objetivo foi necessário:

- Analisar a distribuição espacial da umidade relativa média mensal para todos os meses do ano no período de estudo.
- Definir regiões com características de homogeneidade da variável umidade relativa, para o Estado do Rio Grande do Sul, a partir de quatro

métodos de agrupamento, escolhendo o que melhor represente a climatologia do Estado.

- Fazer um estudo climatológico da umidade relativa das regiões homogêneas, definindo estatísticas que contribuam com a caracterização da variável no Estado.

- Fazer a avaliação da tendência da umidade relativa para as regiões homogêneas, no período de estudo.

- Fazer a modelagem do comportamento sazonal da umidade relativa mensal para as regiões homogêneas, por meio da técnica de análise harmônica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características da região em estudo

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) está situado na área mais meridional do Brasil, entre as latitudes de 27°05' e 33°45' Sul e longitudes de 49°43' e 57°39' Oeste, possuindo aproximadamente uma área de 282.184 km² e 622 km de costa marítima, sendo que 5,2% correspondem a grandes lagunas e ambientes lacustres. Sua topografia é constituída de vales, depressões e regiões montanhosas, a qual contribui na distribuição da precipitação e também na temperatura média do ar, apresentando as maiores altitudes acima de 1.000m na Serra do Nordeste e os menores ao nível médio do mar no litoral (Fig.1).

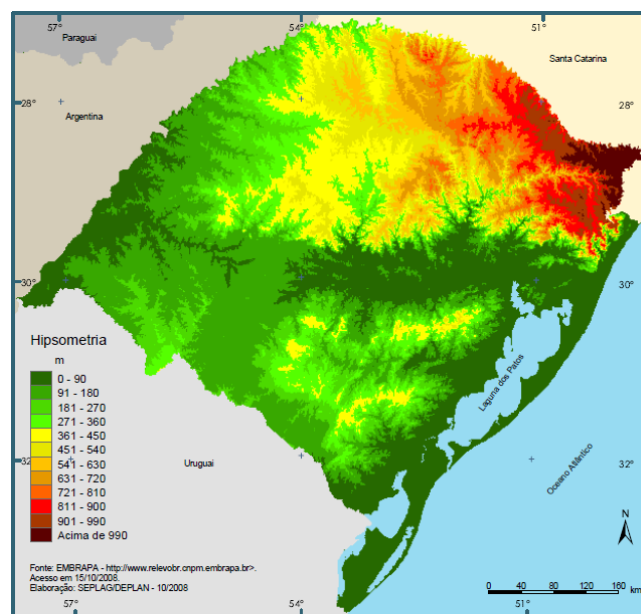


Figura 1 – Mapa topográfico do RS.
Fonte: ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RS (2011).

Segundo o sistema de classificação climática de Köppen, no RS há o domínio do clima mesotérmico, representado pela letra “C”, que significa clima temperado chuvoso e moderadamente quente, em que o mês mais frio tem temperatura média entre -3° e 18°C e o mês mais quente tem uma temperatura

média maior que 10°C. Este tipo de clima é subdividido quanto à distribuição sazonal de precipitação e as características adicionais de temperatura, ou seja, para o Estado a primeira subdivisão refere-se ao tipo “Cf”, que representa ausência de estação seca, sendo úmido o ano todo, e a segunda subdivide-se em duas variedades: “Cfa” (verão quente, o mês mais quente tem temperatura média maior do que 22°C) e “Cfb” (verão moderadamente quente, o mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C). O “Cfa” predomina na maior parte do Estado, enquanto que o “Cfb” encontra-se nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste.

Quanto à influência das massas de ar que tem grande importância por atuar diretamente sobre as temperaturas e os índices pluviométricos em determinadas regiões, o RS sofre a influência da mPa (Massa Polar Atlântica) o ano todo, com características de ar frio e úmido.

De acordo com Nímer (1989) as características e a compreensão climática de uma região não dependem apenas da circulação atmosférica atuantes sobre ela, mas, da interação desta com fatores geográficos como latitude, continentalidade, maritimidade e formas de relevo, fazendo com que o clima regional apresente variabilidade espacial de uma localidade em relação à outra.

Ainda segundo Nímer (1989), os principais constituintes do clima de uma região podem ser classificados em físicos e dinâmicos. Os fatores dinâmicos têm no mecanismo da circulação geral da atmosfera seu principal componente. Interagindo com a circulação atmosférica, as diferenças de aquecimento entre continentes e oceanos e as correntes marítimas, também são fatores que agem sobre o clima.

Com o objetivo de caracterizar regime de chuvas no RS, utilizando dados de 24 estações para o período de 1976 a 2005, Matzenauer et al.(2007) verificaram que a metade Norte do Estado apresenta maior volume anual de chuvas em comparação com o apresentado pela metade Sul. Em algumas regiões da metade Norte o volume de chuvas ultrapassa a 1900 mm anuais, enquanto que na metade Sul, em algumas regiões os valores não atingem a 1400 mm, o que caracteriza uma variabilidade espacial significativa. A primavera é a estação do ano que concentra o maior volume de chuvas na metade Norte do Estado, com valores superiores a 550 mm em algumas

regiões, enquanto que o menor volume de chuvas ocorre na estação de inverno nas regiões da Campanha (Bagé e Uruguaiana) e Baixo Vale Uruguai (Itaqui e São Borja), com valores inferiores a 250 mm.

Segundo Cavalcanti et al. (2009), o clima da região Sul além de sofrer a influência diferente da radiação solar em cada latitude e dos aspectos de relevo, é determinado basicamente pela posição e intensidade da alta subtropical do Atlântico Sul. No verão essa alta desloca-se para sudeste, penetrando pouco no continente, enquanto que o deslocamento no inverno é para noroeste, aumentando a pressão na superfície sobre o continente, com a penetração dos ventos de leste. A circulação associada a esse sistema é um sistema de baixa continental, mais forte no verão, condiciona a circulação em baixos níveis e os importantes fluxos de umidade e advecção de temperatura para a região. A convergência de umidade e o aquecimento da superfície durante o verão tendem a instabilizar a atmosfera e a produzir precipitação, principalmente na parte norte da região Sul.

2.2 Importância do conhecimento da umidade do ar na atmosfera

A água, substância tão imprescindível à vida quanto o oxigênio, está presente na Troposfera em decorrência das propriedades físicas de mudança de estado que possui. A presença de água na troposfera varia espacial e temporalmente, pois depende da superfície fornecedora (solo, vegetação, oceanos, mares, rios e banhados).

A água pode apresentar os três estados físicos: sólido, líquido e gasoso, e os processos de transformação de uma fase para outra são responsáveis pela absorção e liberação de grandes quantidades de energia. No estado gasoso, as moléculas de vapor d'água misturam-se com os demais gases da atmosfera, porém apesar de não serem vistas a olho nu, sua ocorrência é percebida pela sensação de conforto ou desconforto térmico que produzem.

A concentração de vapor d'água na atmosfera, apesar de pequena, é bastante variável e, em geral diminui com a altitude. A quantidade de vapor d'água contida na atmosfera varia de lugar para lugar e no decorrer do tempo. Em regiões tropicais quentes e úmidas, por exemplo, podem encontrar-se o

vapor d'água próximo à superfície em uma proporção tão alta quanto 40 g/kg de ar seco, já nas zonas polares frias e secas, esse valor pode cair para cerca de 0,5 g/kg. Mesmo tendo baixa concentração, o vapor d'água é o constituinte atmosférico mais importante na determinação do tempo e do clima. Ele interfere na distribuição da temperatura, porque participa ativamente dos processos de absorção e emissão de calor sensível pela atmosfera, e também, porque atua no transporte de energia transferindo calor latente de evaporação de uma região para outra, o qual é liberado como calor sensível quando o vapor se condensa. Além disso, deve-se ressaltar que é o único constituinte da atmosfera que muda de estado em condições naturais e, conseqüentemente, é responsável pela origem das nuvens e de seus fenômenos atmosféricos importantes como chuva, neve, orvalho etc.; ou seja, o vapor d'água é a origem de todas as formas de condensação e precipitação (DINIZ, 2006).

O modo como a condensação ocorre depende de como o ar úmido se resfria, originando assim a ocorrência de orvalho, nevoeiro e nuvens. A geração do orvalho ocorre quando a condensação do vapor se dá em contato entre uma superfície fria e o ar quente e úmido, e quando ocorre a sublimação do conteúdo de vapor em contato com as superfícies frias ou a solidificação do orvalho, o qual resultará na ocorrência de geada, em condições atmosféricas favoráveis. Já o nevoeiro, também conhecido como cerração ou neblina, é constituído por uma nuvem muito baixa e em contato com o solo, formada por gotículas de água. As nuvens são resultado dos movimentos ascendentes do ar úmido, que permitem que ele, ao resfriar-se adiabaticamente, alcance seu ponto de saturação e atinja a temperatura do ponto de orvalho, iniciando-se assim, a condensação do conteúdo de vapor existente no ar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A presença do vapor d'água na atmosfera é importante no condicionamento da ocorrência e controle de pragas, moléstias vegetais e animais, e também como determinante da qualidade, armazenamento e conservação dos produtos agrícolas, bem como do conforto animal (PEREIRA et al., 2002).

Portanto, se ter o conhecimento da quantidade de vapor d'água existente no ar é essencial em vários ramos da atividade humana. Como se sabe, a umidade ambiente é um dos fatores que condicionam o

desenvolvimento de muitos microorganismos patógenos que atacam as plantas cultivadas e a própria transpiração vegetal está intimamente relacionada com o teor de umidade do ar adjacente. A umidade do ar também influencia na longevidade, na fecundidade e na taxa de desenvolvimento de muitas espécies de insetos (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A umidade do ar é uma das variáveis climáticas que influencia os processos atmosféricos e sua importância deve-se principalmente ao fato de estar relacionada à influência na demanda evaporativa da atmosfera.

A umidade do ar refere-se à presença de vapor d'água na atmosfera, em que provém da evaporação e da evapotranspiração, cuja intensidade depende principalmente da radiação solar, da extensão da superfície evaporante e da atuação do vento.

Numa dada pressão e temperatura o ar consegue reter o vapor d'água até certa concentração limite. Quando ocorre a concentração máxima do vapor d'água o ar é dito saturado. Para o mesmo valor de pressão, essa saturação cresce com o aumento da temperatura. Portanto, quanto maior a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor d'água.

Segundo Rose (1966; Apud VAREJÃO-SILVA, 2006) a saturação pode ser atingida por um dos seguintes processos: aumentando o teor de umidade à temperatura constante, até a pressão parcial (e) atingir o valor máximo possível àquela temperatura; reduzindo a temperatura, sem acrescentar vapor d'água, até o ponto em que a pressão parcial (e) torne-se saturante; e com a combinação dos dois processos anteriores.

Se no ar saturado for adicionado mais vapor d'água, ou se o ar for resfriado, ocorrerá à condensação do excesso de vapor d'água. A temperatura na qual o ar começa a se condensar é chamada de ponto de orvalho. Quando o ar for resfriado até o ponto de orvalho e o vapor d'água se condensar, normalmente há a formação de nuvens compostas de gotículas de água ou gelo (FERREIRA, 2006).

A umidade do ar é influenciada pelas condições de relevo e pela distribuição latitudinal, pois diminui com o aumento da altitude e da latitude. As massas de ar têm grande importância no transporte de umidade que é evaporada dos oceanos para as regiões continentais.

Dentre as variáveis úmidas, além da pressão parcial, que quantifica o teor de vapor d'água no ar, existem outras variáveis de uso mais corrente, como a umidade absoluta, a umidade específica, a razão de mistura e a umidade relativa do ar. Abaixo estão algumas definições das variáveis úmidas segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007):

A *umidade absoluta*, que também pode ser chamada de concentração do vapor ou densidade do vapor na mistura, é a relação entre a massa do vapor e o volume total ocupado pelo ar úmido, representado em gramas por metro cúbico (g/m^3). Essa medida é pouco utilizada, pois pode não retratar a quantidade real de vapor existente no ar, já que o ar muda de volume ao ascender e descender.

A *umidade específica* é a relação entre a massa do vapor e a massa total do ar úmido na qual esse vapor está contido. Similarmente, a *razão de mistura* é a relação entre a massa de vapor e a massa de ar seco, sem o ar úmido, na qual o vapor está contido. Não havendo perda de umidade por condensação ou sublimação, nem adição por evaporação, o ar, ao mover-se verticalmente, não alterará os valores de umidade específica ou da razão de mistura.

A *umidade relativa* é certamente o termo mais conhecido para representar a presença do vapor d'água no ar, é frequentemente usada para medir a umidade do ar. Essa variável será mais bem explicada no próximo item.

2.2.1 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar (UR) é definida como sendo a razão entre a pressão atual do vapor (e) e a pressão de vapor saturado (e_s). Em outras palavras, a UR é a relação entre a quantidade de vapor d'água existente no ar e a quantidade necessária para a saturação do ar em condições constantes de temperatura e pressão. Como a umidade relativa é expressa em porcentagem, o resultado é multiplicado por 100:

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (1)$$

Quando $e = e_s$ significa que a UR atinge 100% e o ar se torna saturado.

Para a determinação da umidade relativa utilizam-se equipamentos que têm propriedades associadas à quantidade de vapor d'água contida na atmosfera. Os instrumentos mais utilizados na medida dessa variável são os psicrômetros.

É importante ressaltar que a umidade relativa não oferece informações sobre a quantidade de umidade na atmosfera, mas informa o quão próximo o ar está da saturação. Esta variável é influenciada pela temperatura do ar, pois, se houver mudança na temperatura do ar, o valor da umidade relativa pode variar, mesmo que não tenha havido nenhum aumento ou diminuição no conteúdo de umidade.

Nos trópicos, onde as variações diurnas de temperatura são grandes, as variações de umidade durante o dia são consideráveis. Em muitas partes dos trópicos úmidos, principalmente nas áreas costeiras, a umidade relativa pode muitas vezes estar próxima de 100% no período da noite, durante a estação chuvosa. Durante a estação seca, a umidade relativa atinge o valor mínimo à tarde, nos interiores continentais dos trópicos. Também há variações sazonais nos valores da umidade relativa nas baixas latitudes (AYOADE, 1998).

Em estudos realizados por Tubelis e Nascimento (1980), verificou-se que a umidade relativa tem variação diária inversa à temperatura do ar, pois, é menor durante o dia e maior à noite, alcançando o valor mínimo quando a temperatura é máxima, e o valor máximo quando a temperatura é mínima. Em condições de resfriamento noturno moderado, esta variável, tende a se estabilizar num valor máximo, próximo a 100%, até a manhã seguinte. Durante o período de estabilização ocorre a formação de orvalho ou nevoeiro.

Ainda, segundo Tubelis e Nascimento (1980), a variação anual da UR acompanha a variação anual da cobertura do céu e a distribuição anual da precipitação. Para alguns estados brasileiros, a tendência da umidade relativa de ser mínima é nos meses de agosto e setembro e máxima em março e abril, mas para o Rio Grande do Sul, a máxima ocorre em junho e a mínima em dezembro.

Baptista (2002) concluiu em estudo feito para a cidade Pelotas - RS, que a umidade relativa varia ao longo do ano, apresentando os maiores valores nos meses de outono e inverno, em que é crescente a partir janeiro até atingir o máximo no final de julho e daí, decresce até dezembro, alcançando o mínimo no final deste mês. A região é considerada bastante úmida por apresentar UR mensal alta ($\geq 75\%$) em todos os meses.

Segundo Müller (1989), as melhores condições para criação de animais seriam de uma temperatura entre 18 e 13°C, umidade relativa de 60 a 70%, velocidade do vento de 5 a 8 Km/h, solos férteis, sem parasitas e bactérias, radiação solar com intensidade similar as obtidas normalmente na primavera e outono.

Muitas plantas crescem com alta umidade do ar, mas quando o ar saturado persiste por muitas semanas ocasiona completa interrupção na transpiração. Breazeale e McGeorge (1953) observaram que o milho e tomate cultivados sob alto teor de umidade, além de ganharem mais peso, também desenvolvem sistemas radiculares melhores. Fortanier (1957), fazendo variar a umidade relativa entre 50 e 90%, encontrou que o número de flores do amendoim aumenta com a umidade.

No que concerne ao armazenamento de grãos, como já foi informado anteriormente, altos teores de umidade podem ocasionar o desenvolvimento de fungos, enquanto que o grão relativamente seco corre o risco do ataque de insetos (LASSERAN, 1981). O desenvolvimento de fungos ocorre quando a umidade dos grãos entra em equilíbrio com a UR superior a 68%, ocasionando perdas significativas em sua longevidade (POPINIGIS, 1977). Puzzi (1986) salienta que para cada espécie de grão há uma relação definida entre o teor de umidade do grão e a umidade relativa que o mesmo pode ser exposto, sem ganhar ou perder umidade.

Regiões com valores baixos de umidade relativa são adequadas para a implantação de sistemas de secagem combinados (seca-aeração), ou seja, sistemas operacionais, que usando secadores convencionais para reduzir a umidade dos grãos em torno de 16 a 17%, também monitoram as condições atmosféricas do ar, dentro e fora do silo, efetuam cálculos e comparam dados tabelados, sobre a conveniência ou não de aerar (CUNHA, 2000). A utilização desse tipo de sistema, além de evitar a contaminação do produto devido aos

poluentes desprendidos durante a queima de combustíveis no processo de secagem que, em parte são agregados ao produto, também reduz o impacto ambiental causado pelo processo de secagem, quando se utilizam combustíveis fósseis, lenha, casca de arroz, etc. Além disso, é possível com sistemas que utilizam o ar ambiente, reduzir significativamente o consumo de energia, melhorando desta forma a competitividade do produto. Segundo Sauer (1992), a seca-aeração comparada com os métodos convencionais, reduz de 15 a 30% o consumo de energia, aumentando acima de 50% a capacidade do secador e proporcionando grãos menos suscetíveis à quebra.

Machado e Abitante (2008), em estudo feito sobre umidade por condensação no interior das edificações, verificaram que alta umidade da cidade de Pelotas-RS tem gerado manifestações patológicas devido a condensação do vapor d'água nas superfícies nos interiores das edificações. Muitas são as causas dessas patologias, normalmente associadas às fases de planejamento, projeto, execução e uso da edificação. Concluindo, citam que a utilização correta da ventilação dos espaços internos, a utilização de desumidificadores e ainda, a escolha correta dos materiais a serem utilizados, são fatores que contribuem para evitar esta condensação.

2.3 Análise de Agrupamento

Para o estudo de uma variável meteorológica sobre uma determinada área em que estejam envolvidos dados de vários pontos de observação (estações meteorológicas) é preciso recorrer-se às técnicas estatísticas apropriadas. Nas diversas áreas do conhecimento científico a mais utilizada é a análise multivariada, cujos principais objetivos são reduzir a dimensão de uma matriz de dados, investigar o comportamento espacial e temporal das variáveis consideradas e obter grupos homogêneos dessas variáveis. Dentro da análise multivariada existem várias componentes como: a análise das componentes principais (ACP), a análise de agrupamento (AA), análise fatorial e outras.

Vários pesquisadores utilizam a AA, pois é o melhor método para classificação climática de uma determinada região. Além de que não é só utilizado na meteorologia, mas também em outras áreas e conhecimento, como

na medicina, biologia, agronomia e outras. A seguir serão citados alguns trabalhos que utilizaram a AA:

Baptista da Silva et al. (2001), através da AA, estudaram o comportamento dos totais trimestrais das chuvas no estado do Ceará, a partir de 20 estações meteorológicas distribuídas por toda extensão deste Estado, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana ao quadrado e a inércia intra-classe como critério de agregação.

Com relação a dados de temperatura, Diniz (2002) utilizou a técnica de AA e como função de agrupamento, a distância euclidiana, e o método de agrupamento o de ligação completa para analisar as temperaturas máximas e mínimas no Estado do Rio Grande do Sul, com dados obtidos em 40 estações meteorológicas no período de 1913 a 1998.

Para definir grupos de regiões homogêneas de temperatura média do ar para o Estado do Rio Grande do Sul, com dados de 40 estações meteorológicas, para um período de 90 anos, Araújo (2005) também fez uso da técnica de AA, utilizando o método hierárquico e aglomerativo, e como método agrupamento o de ligação completa, o qual apresentou o melhor resultado no processo para identificar e separar regiões homogêneas.

Como utilização de um exemplo biológico, Curi (1985) estudou os aminoácidos livre do tecido cerebral dos ratos usando a AA, complementada com a ordenação das unidades por componentes principais e análise de variância multivariada, que serviu para indicar o nível de similaridade mais adequado para a definição dos agrupamentos. Na medicina a AA foi usada para identificar as doenças e seus estágios, e também para avaliar as condições da saúde pública (POSSOLI, 1984).

Com o objetivo de determinar regiões pluviometricamente homogêneas no âmbito da bacia hidrográfica do rio Brígida – PE para o período de 1964 a 2006, Fachine e Galvêncio (2008) utilizaram como método de agrupamento hierárquico o de Ward, no qual obtiveram três grupos homogêneos.

Ao analisarem séries temporais de dados de poluentes atmosféricos, O_3 e PM_{10} , para determinar a divisão das bacias hidrográficas em Taiwan, no período de julho de 1993 a junho de 1998, Yu e Chang (2001) empregaram métodos estatísticos multivariados, como o método rotacional varimax de análise de agrupamento, os quais geraram cinco grupos homogêneos. Dorling

et al. (1992) usaram a combinação de AA de dados isobáricos (1000mb) das linhas de trajetórias do ar para estabelecer modelos sinóticos e relacioná-los com a concentração de poluentes na precipitação pluvial em Eskadalemuir, sul da Escócia.

Utilizando o método hierárquico de agrupamento de Ward, Cheng e Wallace (1993) geraram grupos homogêneos da altura geopotencial de 500hPa, para o período de janeiro de 1945 a dezembro de 1984, usando pontos de grade desde 20°N até o pólo.

Também com a utilização de dados de precipitação pluvial, Silva et al. (1996) obtiveram grupos homogêneos na parte leste da região Nordeste. Para a Análise de Agrupamento, foram utilizados dados totais mensais de 127 estações meteorológicas localizadas nos tabuleiros costeiros e baixados litorâneas de municípios dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia que no período de 20 anos apresentaram registros contínuos. Foram obtidos quatro grupos com características pluviometricamente homogêneas através do método hierárquico de classificação de Ward.

2.4 Tendência Linear

Uma série de dados é dita estacionária quando se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, isto é, quando as medidas estatísticas não são afetadas pela mudança do intervalo de tempo em que são calculadas. A tendência manifesta-se quando um conjunto de dados apresenta variações (crescimento ou decrescimento) ao longo do tempo. De acordo com Mezzomo (2007), a série com tendência contrapõe-se à série estacionária.

Segundo Morettin (1981), é importante a identificação da tendência numa série por dois motivos: para eliminá-la, pois muitos procedimentos de análise estatística de séries temporais pressupõem a estacionaridade dos dados para sua aplicação; e para a escolha adequada do modelo de previsão a ser adotado.

Cardoso (2010) analisou a tendência linear dos dados de totais mensais de chuva ao longo de 60 anos para seis regiões homogêneas no

Estado do Rio Grande do Sul, verificando que dessas seis regiões, quatro apresentavam tendência significativa. Calculou o aumento relativo para seis regiões, e estas sofreram uma variação de 2,7 a 13,3%, as quais não foram expressivas, de modo geral.

João (2009), analisando a tendência linear de dados de temperatura mínima e máxima média mensal, primeiramente para um período de 90 anos, verificou que a temperatura mínima mostrou claramente uma tendência linearmente crescente, em todos os meses; para a temperatura máxima, as tendências foram praticamente negativas, com exceção do mês de agosto, em que foram positivas no norte e no sul do Estado. Porém, na análise feita para o período dos últimos 30 anos dos dados, ficou evidenciado que a tendência da temperatura mínima média mensal aponta para valores neutros ou negativos, sendo os valores negativos mais expressivos nos meses de fevereiro e maio; para a temperatura máxima média mensal, o predomínio da tendência foi crescente nos meses de agosto e novembro e decrescente nos meses de fevereiro e maio.

Marques e Diniz (2007) estudaram a variabilidade temporal da temperatura do ar na América do Sul e seus efeitos na precipitação durante o verão no Rio Grande do Sul. Os dados utilizados foram as temperaturas médias diárias do período de 1948 a 2006. Fazendo a análise da variabilidade temporal da temperatura, por meio do coeficiente de regressão linear, encontraram um predomínio de aumento na temperatura em praticamente todo o continente Sul-Americano e oceanos vizinhos. Os valores positivos mais significativos são percebidos no Centro-Sul da Argentina e no Nordeste do Brasil. A exceção encontrada foi uma pequena área sobre o Chile Central, a qual aponta um resfriamento. A análise bi-decadal mostrou que esta área de resfriamento foi maior, e mais intensa nos últimos 20 anos. O resfriamento durante o verão reduz a formação de complexos convectivos próximos ao Paraguai, os quais exercem grande influência nos totais de precipitação no RS.

2.5 Análise Harmônica

A análise harmônica é uma metodologia científica com ampla aplicação em pesquisas nos mais diversos ramos do conhecimento. Alguns trabalhos, os quais utilizaram esse modelo como métodos de estudo serão descritos a seguir:

Bliss (1958), tanto na área biológica como climatológica, justificou o uso da análise harmônica a dados com tendências cíclicas. Comentou a necessidade de verificação da homogeneidade de variâncias e da normalidade dos dados previamente à análise harmônica. Também informou, que se os dados observados mudam simetricamente durante o ciclo, a curva da função seno representa bem o fenômeno. Porém, se a curva não for simétrica, poderá ser adicionado mais termos de frequências distintas à equação, até que se encontre o ajuste desejado.

Amaral (1968) utilizou a técnica de análise harmônica para estudo dos dados de precipitação mensal da cidade de Pelotas-RS referentes ao período de 1900 a 1951. Constatou que a síntese das ondas no município, que é sujeito à influência marítima e de frentes polares, é composta pelas ondas anual, semestral e quadrimestral. As duas últimas ondas mostraram-se predominantes no curso anual das precipitações (máximos em fevereiro e setembro) e a onda anual representou apenas 15,25% da variação no período dos doze meses. Diferentemente, em estudo feito para Morro Velho-MG no período de 1855 a 1951, região típica de clima tropical continental onde ocorrem chuvas convectivas no verão e seca hiberna, constatou que a variação entre os meses corre por conta da onda anual, com 99,3%. Para Morro Velho-MG, Amaral precisou fazer a transformação dos dados originais, com o objetivo de homogeneizar as variâncias e normalizá-los, pois, ao utilizá-los diretamente na realização da análise harmônica, obteve estimativas de precipitação negativa. Também, salientou que quando os dados não seguem a distribuição normal, as médias não são representativas, exigindo uma prévia transformação destes que normalize a distribuição e homogeneíze as variâncias, isto é, torne-as independentes da média.

Baptista da Silva (1977) também utilizou a análise harmônica em dados de precipitação para a cidade de Pelotas-RS no período de 1900 a 1951. No

entanto, a técnica foi aplicada aos dados na forma de pântadas, isto é, cada dado constitui-se do total de precipitação de cinco dias consecutivos. Assim, os dados diários de precipitação anual foram divididos em 73 pântadas. Em função dos dados originais não apresentarem normalidade e homogeneidade de variâncias, transformou-os usando a equação $Z = 100X^{1/3}$ e, na determinação das ondas significativas, usou um teste de estabilidade baseado na análise da variação, proposto por Amaral (1968), incluindo em seu modelo as ondas anual, semestral, quadrimestral e de 10,4 dias, que juntas, representaram aproximadamente 40,09% da variação total dos dados.

Baptista da Silva e Fernandes (1991) aplicaram a técnica de análise harmônica para analisarem o comportamento das médias das temperaturas mínimas pentadais e das mínimas absolutas pentadais em Pelotas-RS, referente ao período de 1900 a 1951. Os modelos propostos, com resultados das análises harmônicas, foram comparados com novos conjuntos de observações, no período de 1951 a 1987. As correlações lineares entre os valores estimados pelos modelos e aqueles observados indicaram um bom desempenho dos modelos como representativo das variáveis em apreço, para toda a região de Pelotas.

Ribeiro (2003) utilizou a técnica de análise harmônica aos dados de radiação solar global mensal total da região de Pelotas-RS, para um período de 10 anos, com o objetivo de estabelecer um modelo para estimativa da variável para um ano médio. Neste modelo, foi incluída somente a onda anual, por apresentar um percentual de representatividade da variação total dos dados de 98,74%. Também, aplicou a análise harmônica para um período de 30 anos, com dados estimados pela equação de Angström-Prèscott. Em função dos resultados de estimativa obtidos pelos modelos, verificou que o comportamento da radiação solar global mensal total, na região de Pelotas-RS, segue o ciclo anual natural do movimento de translação da Terra em torno do Sol, apresentando valores máximos no verão e mínimos no inverno, com valores intermediários na primavera e outono.

João (2009) utilizou a técnica de análise harmônica em estudo feito com dados de temperaturas mínimas e máximas médias mensais, no período de 1918 a 2007, para as cidades de Iraí, Pelotas e Santana do Livramento, sendo que, apenas a última estação necessitou a transformação dos dados,

utilizando a equação $Z = 0,1Y^{1,51}$. Portanto, o modelo apresentou a onda anual como a mais importante na explicação da variação total dos dados, com representação de mais de 96% e, verificou que o máximo ocorre no verão e o mínimo no inverno.

Cardoso (2011) aplicou a técnica de análise harmônica aos dados de totais mensais de chuva em regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1948 a 2007, sendo os dados submetidos a transformações por não apresentarem homogeneidade de variâncias e normalidade. O modelo foi constituído de três ou quatro ondas senoidais, com representatividade de 81 a 95% da variabilidade dos dados. A onda semestral a que se destacou mais importante com 50%, seguida da onda quadrimestral com 33%. A onda anual devido a sua comprovada realidade física foi incluída em todos os modelos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados Meteorológicos

Para a realização deste estudo foram utilizados dados das médias mensais de umidade relativa do ar de 26 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, para o período de 1975 a 2009, totalizando 35 anos de dados, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (8º Distrito de Meteorologia – Porto Alegre) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuária (FEPAGRO), da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT) no Estado do Rio Grande do Sul. Estas estações apresentam-se bem distribuídas no Estado, como é mostrada na Fig.. 2 com a respectiva distribuição topográfica, seguido da tab. 1 a qual mostra as coordenadas geográficas, altitudes e instituições a que pertencem.

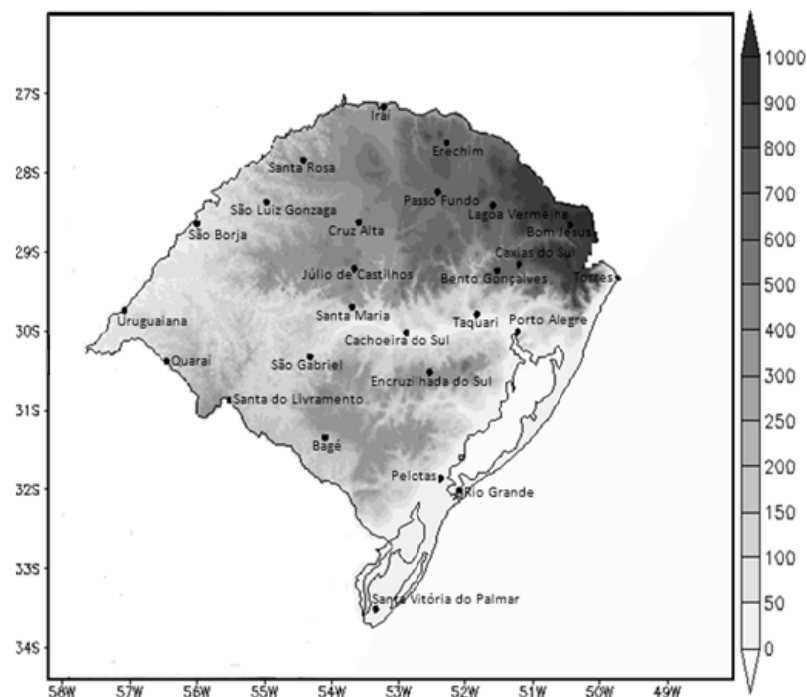


Figura 2 – Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul utilizadas no trabalho e sua respectiva distribuição topográfica.

Tabela 1 - Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas, altitude e instituições a que pertencem.

Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Fonte
Bagé	-31,35	-54,10	215	8° DISME
Bento Gonçalves	-29,25	-51,52	619	8° DISME
Bom Jesus	-28,67	-50,43	1047	8° DISME
Cachoeira do Sul	-30,03	-52,88	72	FEPAGRO
Caxias do Sul	-29,17	-51,20	785	8° DISME
Cruz Alta	-28,63	-53,60	472	8° DISME
Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427	8° DISME
Erechim	-27,63	-52,27	760	FEPAGRO
Iraí	-27,18	-53,23	247	8° DISME
Júlio de Castilhos	-29,22	-53,67	516	FEPAGRO
Lagoa Vermelha	-28,42	-51,58	836	8° DISME
Passo Fundo	-28,25	-52,40	676	8° DISME
Pelotas	-31,87	-52,35	13	8° DISME
Porto Alegre	-30,02	-51,22	46	8° DISME
Quaraí	-30,39	-56,45	112	FEPAGRO
Rio Grande	-32,02	-52,08	5	8° DISME
Santa Maria	-29,70	-53,70	95	8° DISME
Santa Rosa	-27,85	-54,42	360	FEPAGRO
Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	6	8° DISME
Santana do Livramento	-30,88	-55,53	210	8° DISME
São Borja	-28,65	-56,00	96	FEPAGRO
São Gabriel	-30,33	-54,32	124	FEPAGRO
São Luiz Gonzaga	-28,38	-54,97	254	8° DISME
Taquari	-29,80	-51,82	76	FEPAGRO
Torres	-29,33	-49,72	43	8° DISME
Uruguaiana	-29,75	-57,08	74	8° DISME

3.2 Fundamentação Teórica da Análise Multivariada

Conforme já mencionado, quando se deseja obter informações de um grupo de variáveis ou de um conjunto total dos dados de uma região, usualmente recorre-se à análise multivariada.

Neste trabalho foi utilizada a técnica estatística multivariada de Análise de Agrupamento na determinação das regiões homogêneas da umidade relativa do ar média mensal para o período de 1975 a 2009.

Os métodos da AA partem de uma matriz de dados $X_{(n \times p)}$ cujas linhas correspondem “n” unidades (indivíduos) fornecendo “p” características (valores numéricos) cada. No caso de estudos climatológicos, essas unidades podem ser estações meteorológicas e as características seriam os dados meteorológicos como vento, temperatura, pressão, umidade relativa etc., ordenadas ou não segundo sequências cronológicas. No caso de uma única variável, estes dados podem constituir uma sequência cronológica, onde cada linha “i” representa o valor da variável para um mês “i” no conjunto “p” locais. A coluna “j” forma uma série temporal da variável em estudo para o j-ésimo (coluna) dado.

A matriz de dados é organizada da seguinte forma:

$$X_{(n \times p)} = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Observa-se que a matriz $X_{(n \times p)}$ pode ser interpretada como um ordenamento de “p” vetores colunas (cada vetor equivalente à série temporal de cada uma das “p” estações), equação (3.a), e de “n” vetores linha (cada vetor indicando valores de uma determinada rede de estações numa dada época), equação (3.b):

$$X_p = X_1 \ X_2 \ \dots \ X_p \quad (3.a)$$

$$X_n = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} \quad (3.b)$$

Assim, tem-se que: $X_{n \times p} = X_p \cdot X_n$

3.2.1 Análise de Agrupamento

Segundo Curi (1983), dado um conjunto de unidades conhecidas somente por uma listagem de seus caracteres, pretende-se encontrar a melhor maneira de descrever seus padrões de similaridades mútuas. Um dos métodos utilizados para este fim é a análise de agrupamentos, a qual não pressupõe a existência de grupos, ou seja, os diversos passos desta ampla metodologia objetivam transformar um conjunto heterogêneo de unidades, em grupos que se caracterizam pela homogeneidade interna e pela heterogeneidade externa.

Conforme Everitt (1974), classificação pode ser entendida como um processo para localizar entidades em classes inicialmente indefinidas, de modo que indivíduos da mesma classe sejam similares entre si, em algum sentido definido pelas variáveis consideradas. Essas classes de indivíduos similares serão agrupamentos.

Existem várias técnicas de agrupamentos, como por exemplo, as definidas por Everitt (1974), descritas a seguir:

- Técnica de Partição – Otimização;
- Técnicas de Densidade;
- Técnicas de Agrupamento com interseção;
- Outras (que não se encaixam claramente dentro das citadas acima).

As técnicas de AA podem ser hierárquicas e não-hierárquicas. Nas técnicas hierárquicas são produzidas seqüências de partições em classes cada vez mais vastas e nas não-hierárquicas, efetua-se uma partição em um número de classes fixado a “priori”.

As técnicas hierárquicas de agrupamento ainda se subdividem em dois tipos:

- Aglomerativas - em que através de fusões sucessivas dos “n” elementos vão sendo obtidos n-1, n-2, etc, grupos, até reunir todos os elementos num único grupo; ou seja, no princípio cada elemento forma um grupo individual e no final todos se fundem formando um único grupo;

- Divisivas – partem de um único grupo e por divisões sucessivas vão sendo obtidos dois, três etc., grupos.

O que caracteriza estes processos é que a união de dois grupos numa certa etapa produz um dos agrupamentos da etapa superior, caracterizando o processo hierárquico.

3.2.2 Função de Agrupamento

Na análise de agrupamentos, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação de uma função de agrupamento.

Esta função é usada como critério para medir a distância entre dois objetos ou estabelecer o quanto eles são parecidos. Alguns autores a chamam de coeficiente de parecença, que pode ser dividida em duas categorias: medida de similaridade e dissimilaridade. Na medida de similaridade, quanto maiores os valores observados mais parecidos são os objetos. Enquanto que na medida de dissimilaridade, quanto maiores os valores observados menos parecidos (mais dissimilares) serão os objetos. Um exemplo de medida de similaridade é o coeficiente de correlação, e de dissimilaridade é a distância euclidiana. A maioria dos algoritmos utiliza medidas de similaridade e dissimilaridade entre elementos de um conjunto, cujos valores de similaridade (dissimilaridade) calculados com base na matriz de dados originais $X_{(n \times p)}$ são representados por uma matriz de distâncias ou de similaridade denominada matriz de parecença.

3.2.3 Distância Euclidiana e Métodos de Agrupamento

De acordo com Wilks (1995), a idéia central do agrupamento de um conjunto de dados distribuídos em pontos é a idéia de distância, relativa às distâncias entre grupos. A mais intuitiva e comumente medida de distância

usada em análise de agrupamento é a distância euclidiana em dados de vetores num espaço P-dimensional. Assim, a distância entre dois pontos X_i e X_j é:

$$d_{ij} = \|X_i - X_j\| = \left[\sum_{k=1}^p (X_{i,k} - X_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

Quando se usam grandezas não diretamente comparáveis (com unidades e naturezas diferentes), a mudança de uma das unidades de medida pode alterar completamente o significado e o valor do coeficiente de parença. Essa é uma das razões da padronização ou redução das variáveis. A redução é feita da seguinte forma: a matriz $X_{(n \times p)}$ é transformada numa outra $Z_{(n \times p)}$ tal que

$$Z_{i,k} = \frac{X_{i,k} - \bar{X}_k}{S_k} \quad (5.a)$$

$$Z_{j,k} = \frac{X_{j,k} - \bar{X}_k}{S_k} \quad (5.b)$$

Sendo $\bar{X}_k$ e S_k a média e o desvio padrão dos valores na k-ésima coluna.

Feita a transformação a distância euclidiana passa a ser:

$$d_{ij} = \|Z_i - Z_j\| = \left[\sum_{k=1}^p (Z_{i,k} - Z_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

ou, substituindo (5. a) e (5. b) em (6), temos:

$$d_{ij} = \|X_i - X_j\| = \left[\sum_{k=1}^p \left(\frac{X_{i,k} - X_{j,k}}{S_k} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

que é média dos desvios quadráticos dos dados padronizados.

Tanto a distância euclidiana (medida de dissimilaridade) quanto o coeficiente de correlação (medida de similaridade) podem ser usados na

determinação dos grupos. Para esta finalidade existem dois métodos de agrupamentos, os hierárquicos e os não-hierárquicos. Nos hierárquicos várias técnicas de agrupamentos são possíveis. Dentre eles podemos destacar os relacionados por Wilks (1995), que são os seguintes: o método da ligação simples ou vizinho mais próximo, o da ligação completa ou vizinho mais distante, o método da ligação média, o método da centróide e o método de Ward. Estes métodos serão descritos aqui por terem sido utilizados neste trabalho e em vários trabalhos encontrados na bibliografia.

a) Método da ligação simples ou vizinho mais próximo

Este método usa como medida de parença entre dois grupos, tanto a similaridade quanto a distância. Os grupos inicialmente constituídos de grupos individuais (onde cada objeto é um grupo) se fundem de acordo com a distância entre seus membros mais próximos. Os grupos com menor distância se fundem primeiro. Por este método, então, a distância entre grupos é definida como a distância entre seus membros mais próximos. Assim, a distância entre dois grupos G_1 e G_2 será definida por:

$$d_{G_1G_2} = \min [d_{ij}] \quad (8)$$

onde: $i \in G_1$ e $j \in G_2$

No caso de similaridade (definida por s),

$$s_{G_1G_2} = \max [s_{ij}] \quad (9)$$

onde: $i \in G_1$ e $j \in G_2$

b) Método da ligação completa ou vizinho mais distante

Este método é exatamente o oposto ao da ligação simples, apesar de usar tanto a medida de distância quanto a de similaridade para definir a parença. No entanto aqui os grupos são formados fundindo os membros

mais distantes entre os grupos. No caso da parença ser definida pela distância, esta será calculado por:

$$d_{G_1G_2} = \max [d_{ij}] \quad (10)$$

onde: $i \in G_1$ e $j \in G_2$

No caso de similaridade (definida por s),

$$s_{G_1G_2} = \min [s_{ij}] \quad (11)$$

onde: $i \in G_1$ e $j \in G_2$

c) Método da centróide

Este processo é o mais direto, pois substitui cada fusão de grupos por um único ponto representado pelas coordenadas de seu centro. A distância entre os grupos é definida pela distância entre os centros. Em cada etapa procura-se fundir grupos que tenham a menor distância entre si. A distância entre G_1 e G_2 será:

$$d_{G_1G_2} = \| \bar{X}_{G_1} - \bar{X}_{G_2} \| \quad (12.a)$$

Onde os vetores médios são definidos conforme equação abaixo,

$$\bar{X}_g = \frac{1}{n_g} [X_g]^T \cdot 1 \quad (12.b)$$

d) Método de Ward

Ward (1963), citado por Everitt (1974), propôs que em qualquer estágio de uma análise, a perda de informações, que resulta do agrupamento de indivíduos em grupos, pode ser medida pela soma total do quadrado dos

desvios de todos os pontos em torno da média do grupo para o qual estão contidos. Em cada passo dentro da análise a união de todos os pares possíveis do grupo é considerada, e os dois grupos cuja fusão resulte no mínimo incremento da inércia, ou seja, cuja fusão resulta no menor incremento do erro na soma dos desvios quadráticos, são combinados. O agrupamento é feito diretamente através da equação:

$$W = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2 \quad (13)$$

As etapas descritas anteriormente, embora instrutivas acerca do processo de agrupar indivíduos, não facilitam a interpretação dos resultados a respeito de como serão obtidos os grupos e o número deles num processo de agrupamento. Necessita-se de instrumentos mais apropriados; um deles é o dendrograma que é uma representação gráfica muito usada na análise de agrupamento para apresentar o resultado de um agrupamento. O dendrograma é composto por linhas ligadas segundo os níveis de similaridade que agrupam pares de espécies ou de variáveis. O gráfico é uma simplificação em duas dimensões de uma relação multidimensional.

Entendendo que esta análise sempre deve ser aplicada com caráter introdutório, e nesse sentido tem seu mérito, a consideração a ser adotada é que o melhor método para a obtenção dos grupos é aquele que fornece os resultados mais coerentes com a realidade climatológica da região estudada. Existem dois métodos de determinação do número de grupos a ser obtido e dos indivíduos que os constituem: um método objetivo e outro subjetivo. No primeiro, a evolução da inércia em etapas sucessivas de agrupamentos, pode ser utilizada; observa-se que a inércia em algumas sequências de agregação aumenta rapidamente indicando a partir daí a existência de um número de grupos a ser obtido. Portanto, nem sempre essa transição está bem definida, nesse caso, algum critério subjetivo deve ser adotado. Então, sugere-se um corte transversal no dendrograma determinado, através da necessidade e dos dados agrupados, o melhor número de grupos a ser obtido.

3.3 Testes de Homogeneidade de Variâncias e de Normalidade

Quando se tem o objetivo de estudar a tendência linear de uma série temporal de determinada variável e a periodicidade destes dados (análise harmônica), é necessário a verificação da homogeneidade das variâncias e da normalidade dos dados, sendo para isto aplicado testes, como por exemplo, os utilizados neste trabalho, que são os testes de Cochran (C) para homogeneidade de variâncias e o de Kolmogorov-Smirnov (KS) para normalidade. Além disso, a técnica de análise harmônica exige também a estacionariedade dos dados.

3.3.1 Teste de Cochran para a Homogeneidade de Variâncias

Segundo Dixon e Massey (1969) o teste de Cochran consiste em calcular todas as variâncias (σ^2) envolvidas no experimento e dividir o maior valor delas pela soma de todas. O valor resultante da divisão é comparado com os valores críticos de uma tabela estatística, que leva em conta o número de variâncias envolvidas (k) e o número de graus de liberdade utilizado nos cálculos das variâncias, o qual deve ser o mesmo para todas, pois a construção da tabela é dessa forma.

$$C = \frac{\sigma_{i_{maior}}^2}{\sum \sigma_i^2} \quad (14)$$

Com $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

O teste de Cochran consiste em averiguar as hipóteses, que seguem abaixo:

- Para o caso de homogeneidade de variâncias, deve-se ter que $C_{calc.} \leq C_{tab.}$
- Para o caso de variâncias não homogêneas, deve-se ter que $C_{calc.} > C_{tab.}$

Conforme Amaral (1968), para o caso de não se verificar uma distribuição normal e variâncias homogêneas, é necessário uma transformação dos dados originais.

3.3.2 Teste de Kolmogorov–Smirnov para a Normalidade

De acordo com Assis et al.(1996) se aplica o teste de Kolmogorov-Smirnov quando há a necessidade de verificar se os valores de uma certa amostra de dados podem ser considerados como provenientes de uma população com distribuição teórica preestabelecida, sob uma hipótese; a hipótese de nulidade (H_0).

O teste confronta duas distribuições de frequência acumuladas, uma $F'(X)$, teórica, e outra, $F(X)$, derivada dos dados amostrais, tal que:

- Seja $F'(X)$ uma função de distribuição de probabilidade teórica com seus parâmetros especificados;
- Seja $F(X)$ uma função distribuição de probabilidade empírica, ou seja, para uma determinada classe de frequência $F(X)=fa/(N+1)$, onde fa é a frequência acumulada da classe;
- Determine-se:

$$D_{max} = MAX |F'(X) - F(X)| \quad (15)$$

- Se, ao nível de significância estabelecida, o valor observado de D_{max} for maior ou igual ao valor crítico de D_{max} (tabelado), a hipótese de nulidade, ou seja, a hipótese de que os dados amostrais provêm de uma população com distribuição teórica, $F'(X)$, é rejeitada.

3.3.3 Tendência Linear dos Dados

Para a análise da tendência linear dos dados de umidade relativa média mensal para o período de 35 anos das regiões homogêneas em estudo, estabelece-se o uso neste trabalho da regressão linear dos dados sobre o número de meses, avaliada por meio do teste t, ao nível de significância de 5%.

Inicialmente, os dados foram dispostos num diagrama de dispersão, o qual nos permite observar que os dados podem ser aproximados por uma linha reta, expressando uma relação linear entre as variáveis. A equação utilizada no cálculo da tendência linear é dada por:

$$y = a + bX_i \quad (16)$$

onde,

y é a variável dependente;

a é o coeficiente linear;

b é o coeficiente de regressão, que representa a variação da variável dependente em relação à variável independente;

X_i é a variável independente, ou seja, $X_i = 1, 2, 3, \dots, 420$ meses.

Depois de estimada a equação de regressão e verificada a sua significância, avaliou-se o aumento (ou o decréscimo) mensal da UR ao longo dos meses.

A expressão abaixo representa o aumento mensal da variável ao longo dos 35 anos de estudo, naquelas regiões que porventura apresentem tendências significativas.

$$A_m = \frac{y_{420} - y_1}{420} \quad (17)$$

A_m = aumento mensal

y_{420} = valor estimado no extremo superior da equação linear

y_1 = Valor estimado no extremo inferior da equação linear

3.4 Análise Harmônica

A análise harmônica é baseada no estudo de funções trigonométricas periódicas.

Portanto, o melhor método de se estudar o comportamento periódico dos dados é por meio da técnica de análise harmônica, esta técnica decompõe a série de dados em componentes independentes chamadas harmônicos, que no modelo resultante, são representadas através de funções senoidais.

Esta técnica é recomendada, quando existe um período fundamental subdividido em partes iguais. Neste caso, de dados mensais, temos o ano expresso em 12 meses e, daí o uso correto da análise. Quando isto não ocorre, em que se têm totais anuais, usa-se a análise espectral.

3.4.1 Ajustamento dos Dados

Para o estudo da umidade relativa neste trabalho foram utilizados os dados de média mensal. Portanto, para a aplicação do modelo de análise harmônica, é necessário que os dados originais sejam ajustados a um mês de 30 dias, visto que, a quantidade de dias em cada mês não é igual, procedimento indicado por Amaral (1968) e Bliss (1958). Logo, o ajustamento foi feito multiplicando os dados das médias mensais de umidade relativa por $30/31$, nos meses com 31 dias, por $30/28$ no mês de fevereiro dos anos comuns e por $30/29$ no mês de fevereiro dos anos bissextos reduzindo-se assim, todos os dados da UR média mensal a um mês de 30 dias. Quanto aos erros provocados pelo ajuste, através de um exemplo com dados de temperatura, Bliss (1958), demonstrou que são desprezíveis para a maioria dos propósitos.

3.4.2 Transformações de Dados

Anteriormente à utilização de muitas técnicas estatísticas a um conjunto de dados, é importante, segundo Bliss (1958), Amaral (1968), Baptista da Silva (1977) e Assis et al.(1996) verificar a homogeneidade de variâncias e a normalidade dos mesmos.

Há basicamente duas razões para se transformar os dados originais, ou seja, estabilizar a variância e tornar o efeito sazonal aditivo. Outra razão, para efetuar transformações é obter uma distribuição para os dados mais simétricos e próximos da normal (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Portanto, previamente à aplicação da análise harmônica, os dados são testados para verificar sua homogeneidade de variâncias e normalidade. Esses requisitos não sendo satisfatórios podem fazer que ao realizar-se a análise harmônica, obtenham-se resultados absurdos, como, o exemplo dos obtidos por Amaral (1968) na aplicação da técnica à dados precipitação mensal de Morro Velho – MG, em que o autor, não transformando os dados, obteve precipitações negativas.

Caso os dados não sigam a distribuição normal e não apresentem variâncias homogêneas, deve-se fazer a transformação destes, para que os resultados obtidos na análise sejam mais significativos e confiáveis.

Ao final, quando utilizada alguma transformação, a partir dos dados estimados pelo modelo, retorna-se aos dados originais por meio de conveniente transformação inversa.

Para este trabalho os dados ajustados de umidade relativa média mensal foram testados utilizando os testes de Cochran para a homogeneidade de variâncias e o de Kolmogorov-Smirnov para a normalidade, vistos na seção 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente.

3.4.3 Estacionaridade

Para o estudo de uma série de dados, a suposição mais frequente que se faz, é de que a série seja estacionária, ou seja, se desenvolva no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (série sem tendência). Porém, segundo Morettin e Tolo (2004), a maioria das séries que são encontradas na prática apresenta alguma forma de não-estacionaridade.

Como se supõe que a série de dados seja estacionária para a maioria dos procedimentos estatísticos, será necessário, transformar os dados, se estes não apresentarem uma série estacionária. O procedimento utilizado na estimativa da tendência, para eliminá-la da série original, é ajustar a curva dos valores observados da série através de um polinômio. Estimada a tendência e subtraindo da série original, obtém-se uma estimativa da série livre de tendência, isto é, uma série estacionária.

3.4.4 Funções Periódicas

Para uma função $y = y(t)$, em que a variável independente t não representa, necessariamente, o tempo, é dita periódica de período T se:

$$y(t \pm T) \equiv y(t) \quad (18)$$

Isto é, se $y(t \pm T)$ é idêntico a $y(t)$ ou, o que é o mesmo, se $y(t \pm T) \equiv y(t)$, para qualquer valor de t .

Para descrever fenômenos periódicos, as funções trigonométricas são as mais utilizadas, por causa de sua periodicidade. Como, por exemplo, a função:

$$y_t = a \operatorname{sen}(wt + A) \quad (19)$$

é uma função senoidal simples, periódica, com período $T = 2\pi/w$ radianos ou $360/w$ graus. A função $\operatorname{sen}(wt + A)$ assume todos os valores no intervalo de -1 a $+1$, quando t varia entre $-\infty$ e $+\infty$, e y_t assume todos os valores compreendidos entre $-a$ e $+a$.

A constante a , denomina-se de amplitude da onda, a qual representa a metade da oscilação da função.

A é um ângulo denominado de ângulo de fase ou simplesmente fase, é o tempo medido em ângulo da máxima resposta de “ y ”. O período, a amplitude e o ângulo fase, identificam completamente uma forma de onda.

3.4.5 Modelo matemático

A equação utilizada para análise de Fourier ou análise harmônica, é dada por:

$$y_t = a_0 + a_1 \operatorname{sen}(wt + A_1) + a_2 \operatorname{sen}(2wt + A_2) + \dots + a_k \operatorname{sen}(kwt + A_k) \quad (20)$$

onde,

a_0 = valor médio

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ = amplitudes harmônicas

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$ = ângulos-fase das harmônicas

k = k -ésima ordem da onda senoidal (da harmônica)

$w = 360/T = 2\pi/T$ = frequência angular

t = tempo

T = período fundamental = período da função original

A componente senoidal com frequência angular ω_k , é o k -ésimo harmônico da função periódica. O primeiro harmônico também chamado de onda ou harmônico fundamental tem o mesmo período e a mesma frequência que a função. O segundo harmônico tem um período igual à metade do período do harmônico fundamental; o terceiro harmônico tem o período igual a um terço deste e assim por diante. Consequentemente, para o segundo harmônico, a frequência é o dobro; para o terceiro é o triplo e assim sucessivamente.

Os parâmetros do modelo apresentado na equação (20) são as amplitudes a_k e os ângulos fase A_k .

Desenvolvendo a equação (20) através da relação:

$$\sin(a + b) = \sin(a) \cos(b) + \sin(b) \cos(a) \quad (21)$$

e usando as transformações dos parâmetros A_k e a_k em p_k e q_k , de acordo com a representação gráfica da figura seguinte, dadas por:

$$p_1 = a_1 \sin A_1 \dots \dots \dots q_1 = a_1 \cos A_1 \quad (22)$$

$$p_2 = a_2 \sin A_2 \dots \dots \dots q_2 = a_2 \cos A_2 \quad (23)$$

$$p_k = a_k \sin A_k \dots \dots \dots q_k = a_k \cos A_k \quad (24)$$

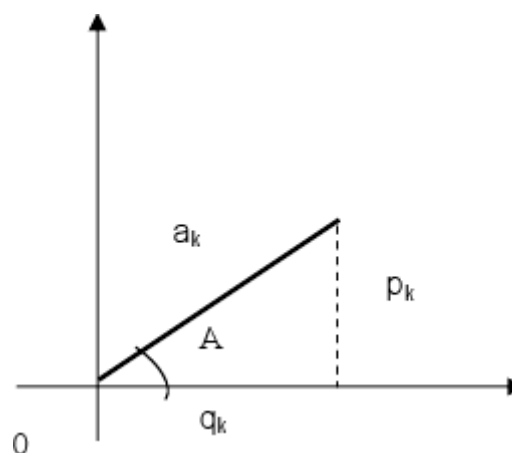


Figura 3 – Representação gráfica de A_k , a_k , p_k e q_k .

e fazendo-se $a_0 = p_0$, obtém-se:

$$y_t = p_0 + q_1 \sin wt + p_1 \cos wt + q_2 \sin 2wt + p_2 \cos 2wt + \dots + q_k \sin kwt + p_k \cos kwt \quad (25)$$

Agrupando-se os p_k e q_k e considerando-se uma série finita de N dados, obtém-se na forma sintetizada a análise harmônica da série que é constituída, portanto, de uma série finita de somas de senos e cossenos. A previsão do valor do elemento climático para cada mês será, obtida pela soma algébrica, na forma:

$$y_t = p_0 + \sum_{k=1}^m [p_k \cos(kwt) + q_k \sin(kwt)] \quad (26)$$

Onde m é a maior ordem harmônica para uma série finita de dados. Assumindo valores de $m=T/2$, quando T é par e $m=(T-1)/2$, quando T for ímpar, sendo T o período fundamental. Esse período é igual ao comprimento da série ($T=N$). No caso deste trabalho, em que se estuda a variável umidade relativa do ar, o período é igual a 12 meses, ou seja, se considera o mês como unidade de tempo. Assim, a variação anual da umidade relativa média mensal será decomposta em 6 ($m=T/2$) ondas senoidais de períodos 12; 6; 4; 3; 2,4 e 2 meses.

Para a estimativa dos coeficientes p_0 , p_k e q_k , pela a resolução de um sistema de equações através da álgebra matricial, a partir da equação (26), são válidas as seguintes expressões:

$$\hat{p}_0 = \bar{y} \quad (27)$$

$$\hat{p}_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} (y_t \cos wkt) \quad (28)$$

$$\hat{q}_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} (y_t \sin wkt) \quad (29)$$

Observação: se T é par, tem-se:

$$\hat{p}_{(T/2)} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} y_t \cos\left(\frac{T}{2} wt\right) \quad (30)$$

$$\hat{q}_{(T/2)} = 0 \quad (31)$$

A partir das estimativas de p_0 , p_k e q_k , $k = 1, 2, \dots, T/2$ (se T é par) ou $(T-1)/2$ (se T é ímpar), volta-se ao modelo original, equação (20), obtendo-se as estimativas de a_0 , a_k e A_k .

Veja-se, pois, que:

$$\hat{p}_k = \hat{a}_k \sin \hat{A}_k \quad \text{e} \quad \hat{q}_k = \hat{a}_k \cos \hat{A}_k$$

Daí, se elevarmos essas expressões ao quadrado, temos:

$$\hat{p}_k^2 = \hat{a}_k^2 \sin^2 \hat{A}_k \quad \text{e} \quad \hat{q}_k^2 = \hat{a}_k^2 \cos^2 \hat{A}_k$$

Somando-se, tem-se:

$$\hat{p}_k^2 + \hat{q}_k^2 = \hat{a}_k^2 \sin^2 \hat{A}_k + \hat{a}_k^2 \cos^2 \hat{A}_k = \hat{a}_k^2 (\sin^2 \hat{A}_k + \cos^2 \hat{A}_k) = \hat{a}_k^2$$

E daí,

$$\hat{a}_k = \sqrt{\hat{p}_k^2 + \hat{q}_k^2} \quad (32)$$

Por outro lado, $\frac{\hat{p}_k}{\hat{q}_k} = \frac{\hat{a}_k \sin \hat{A}_k}{\hat{a}_k \cos \hat{A}_k} = \tan \hat{A}_k$, logo,

$$\hat{A}_k = \arctan \frac{\hat{p}_k}{\hat{q}_k} \quad (33)$$

O diagrama da Fig..4, adaptado por Conrad & Pollak (1950), citados por Santos (1984), mostra como determinar o quadrado dos ângulos-fase.

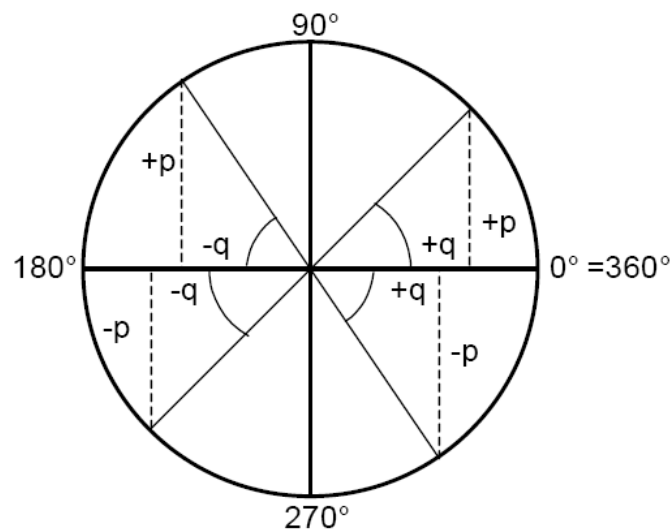


Figura 4 – Diagrama para determinação do ângulo-fase.

As combinações dos sinais de p_k e q_k pelas quais os ângulos-fase podem ser determinados são:

- a) $+p$ e $+q$;
- b) $+p$ e $-q$;
- c) $-p$ e $-q$;
- d) $-p$ e $+q$.

Através das combinações dos sinais de p_k e q_k tem-se o quadrante ao qual pertence o ângulo $\hat{A}_k$, conforme a Fig..4, determinado segundo as relações da tab. 2.

Tabela 2 – Posição do ângulo-fase segundo os sinais dos coeficientes p_k e q_k

Sinal de p_k	Sinal de q_k	Ângulo $\hat{A}_k$	Quadrante
+	+	$\hat{A}_k = \hat{A}_{k++}$	1°
+	-	$\hat{A}_k = 180^\circ - \hat{A}_{k+-} $	2°
-	-	$\hat{A}_k = 180^\circ + \hat{A}_{k--}$	3°
-	+	$\hat{A}_k = 360^\circ - \hat{A}_{k-+} $	4°

Observação: se T é par,

$$\hat{a}_{(T/2)} = |\hat{p}_{(T/2)}| \quad (34)$$

$$\hat{A}_{(T/2)} = 90^\circ, \text{ se } \hat{p}_{(T/2)} > 0 \quad (35)$$

$$\hat{A}_{(T/2)} = 270^\circ, \text{ se } \hat{p}_{(T/2)} < 0 \quad (36)$$

Em nosso caso, para o período fundamental T de 12 meses (par), a equação (26) pode ser reescrita como:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t = & \hat{p}_0 + \hat{p}_1 \cos wt + \hat{p}_2 \cos 2wt + \hat{p}_3 \cos 3wt + \hat{p}_4 \cos 4wt + \hat{p}_5 \cos 5wt + \\ & \hat{p}_6 \cos 6wt + \hat{q}_1 \sin wt + \hat{q}_2 \sin 2wt + \hat{q}_3 \sin 3wt + \hat{q}_4 \sin 4wt + \\ & \hat{q}_5 \sin 5wt \end{aligned} \quad (37)$$

Com $w = 360^\circ/12 = 30^\circ$ e os coeficientes calculados por:

$$\hat{p}_0 = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{t=11} y_t \quad (38)$$

$$\hat{p}_k = \frac{1}{6} \sum_{t=0}^{t=11} y_t \cos 30kt, \quad k = 1, 2, 3, \dots, 5 \quad (39)$$

$$\hat{q}_k = \frac{1}{6} \sum_{t=0}^{t=11} y_t \sin 30kt, \quad k = 1, 2, 3, \dots, 5 \quad (40)$$

$$\hat{p}_6 = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{t=11} y_t \cos 180t \quad (41)$$

Com os coeficientes calculados, determinam-se os parâmetros a_k e A_k da expressão (20) através das equações (32) e (33), e de acordo com a tab.2.

3.4.6 Representatividade do modelo

Se todas as harmônicas forem computadas e então adicionadas à média, o resultado é exatamente o dado original do evento analisado. A utilização de todas as harmônicas, nem sempre é necessário porque, em geral, as primeiras já explicam a maior proporção da variação total da série de dados analisados. A seleção das ondas utilizadas na composição do modelo foi feita de modo que cada modelo está composto por um número de ondas adequado para garantir uma boa representatividade dos dados, ou seja, considera-se $R^2 \geq 80\%$.

Para o cálculo da representatividade do modelo utiliza-se a seguinte equação:

$$R^2 = \sum \frac{a_k^2}{2\sigma^2} \quad (42)$$

R^2 = coeficiente de determinação, representa a variabilidade do modelo.

a_k = amplitude do k-ésimo harmônico, selecionado para o modelo.

σ^2 = variância populacional.

Para a estimativa dos parâmetros dos modelos de análise harmônica utiliza-se o periodograma. O periodograma ou espectro amostral é um dos estimadores do espectro do processo estocástico estacionário. O espectro de um processo estocástico é definido como a transformada de Fourier da sua função autocovariância.

O periodograma pode ser expresso em função dos seno e cosseno, pela transformada de Fourier, ou seja:

$$I_k = \frac{N}{2} (p_k^2 + q_k^2) \quad (43)$$

O periodograma fornece a forma como as variâncias da série, constituídas por uma combinação de senos e cossenos, estão distribuídas entre as várias frequências harmônicas distintas (BOX; JENKINS; REINSEL, 1994).

3.5 Etapas realizadas neste trabalho

Para a realização deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

Primeiramente, foram completados os dados, pois a série de dados da umidade relativa não estava completa, apresentando falhas em algumas estações meteorológicas; portanto, foi necessária a utilização de uma técnica apropriada para o preenchimento de falhas. A técnica utilizada neste trabalho para preenchimento de falhas foi o método das correlações utilizadas por Diniz (2002).

Após obter a série de dados completa, foram elaborados mapas de isolinhas de umidade relativa do ar média mensal para o Estado do Rio Grande do Sul.

Na etapa seguinte, foi construída a matriz de dados. Nesta matriz de dados também foram introduzidas as coordenadas de posição e altitude de cada estação meteorológica. As linhas variam, portanto, de 1 a 26 e as colunas de 1 a 423.

Na quarta etapa foram determinadas as regiões homogêneas, aplicando-se os quatro métodos hierárquicos aglomerativos de agrupamento à matriz de dados obtida anteriormente. Os métodos aplicados foram: o da ligação simples, ligação completa, centróide e o de Ward, tendo como função de agrupamento a distância euclidiana, sendo estes cálculos feitos através de software estatístico "SPSS". A utilização de mais de um método, deveu-se ao fato de que vários métodos aplicados ao mesmo conjunto de dados geram diferentes resultados. Portanto, pôde-se verificar a composição dos grupos obtidos por cada um deles e fazer a escolha daquele método que representava melhor as características climatológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Tanto o número de grupos, como as estações contidas em cada um deles, foram determinadas de forma subjetiva através de corte transversal no dendrograma.

Definidas as regiões homogêneas para o Estado, fez-se o estudo climatológico para cada uma delas, com a aplicação de métodos estatísticos apropriados.

Na quinta etapa estudou-se a tendência linear dos dados, com o objetivo de observar a variação da umidade relativa no período de 1975 a 2009. Para o estudo da tendência, houve a necessidade de se verificar os dados, os quais se apresentaram com variâncias homogêneas e normalidade, não havendo assim, a necessidade de transformação destes dados. Logo, calculou-se o aumento mensal da umidade relativa para as regiões que apresentaram tendência linear significativa.

A sexta etapa se constituiu na aplicação do modelo de análise harmônica, em que para a utilização deste modelo os dados foram ajustados a meses de 30 dias. Após os dados serem ajustados também foi necessária a verificação da normalidade e homogeneidade de variâncias, as quais foram satisfatórias, não sendo necessária a transformação dos mesmos. Para a verificação da homogeneidade de variâncias e da normalidade, tanto para a tendência linear como para a análise harmônica foram aplicados os testes de Cochran, utilizando o software “Excel” e o de Kolmogorov-Smirnov, utilizando o software “STATISTICA”.

Foi verificada a estacionaridade dos dados, por meio da regressão linear, sendo esta, outro requisito para o estudo da análise harmônica. Cumpridas as exigências acima, fez-se a modelagem da umidade relativa média mensal para “um ano médio” das quatro regiões homogêneas, através do modelo de análise harmônica. Para a estimativa dos parâmetros do modelo utilizou-se o periodograma, conforme o procedimento do software “STATISTICA”.

A seleção das ondas para o modelo, baseou-se na magnitude de suas amplitudes, até atingir uma representatividade (R^2) de no mínimo 80% (Baptista da Silva et al., 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos mapas de isolinhas de umidade relativa do ar para todos os meses do ano

Para se avaliar a distribuição espacial da umidade relativa do ar no Estado foram elaborados mapas a partir das médias dos dados dessa variável para os doze meses do ano no período de 1975 a 2009 por meio da utilização do software “*Surfer*”.

A umidade relativa do ar é influenciada por outras variáveis; portanto, observa-se que na parte litorânea do Estado, essa variável apresenta os valores mais elevados, pois os ventos oriundos de leste trazem a umidade do oceano Atlântico e também pela região possuir grandes reservatórios de água (superfícies evaporantes), como por exemplo, a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. Já na parte oeste, encontram-se os menores valores; isto se deve a esta localidade ser mais continental, pois, além de não ser tão afetada pela umidade litorânea, possui os maiores valores de temperatura (DINIZ, 2002).

Nas regiões mais elevadas, como na região serrana, também se observa que os valores dessa variável são menores, pois a umidade relativa do ar diminui com o aumento da altitude, porque quanto maior a altitude, mais rarefeito torna-se o ar (DINIZ, 2006).

No entanto, no inverno é que a umidade relativa é mais elevada, neste período, tem-se a menor incidência da radiação solar e, também é mais frequente a passagem de sistemas frontais pelo Estado, os quais causam o aumento da nebulosidade. Já no verão, ocorre o contrário, além da inclinação dos raios solares serem menores, as massas de ar atingem o Estado em um intervalo de tempo mais longo.

Observa-se nos mapas que as isolinhas de maiores valores, em torno de 83 e 85%, encontram-se no litoral e na estação mais fria do ano (junho), já os menores valores ocorrem na fronteira oeste, aproximadamente 63 e 65%, na estação quente (dezembro).

As figuras abaixo mostram os mapas de isolinhas com os valores de umidade relativa do ar média mensal para o Estado, nos 12 meses do ano.

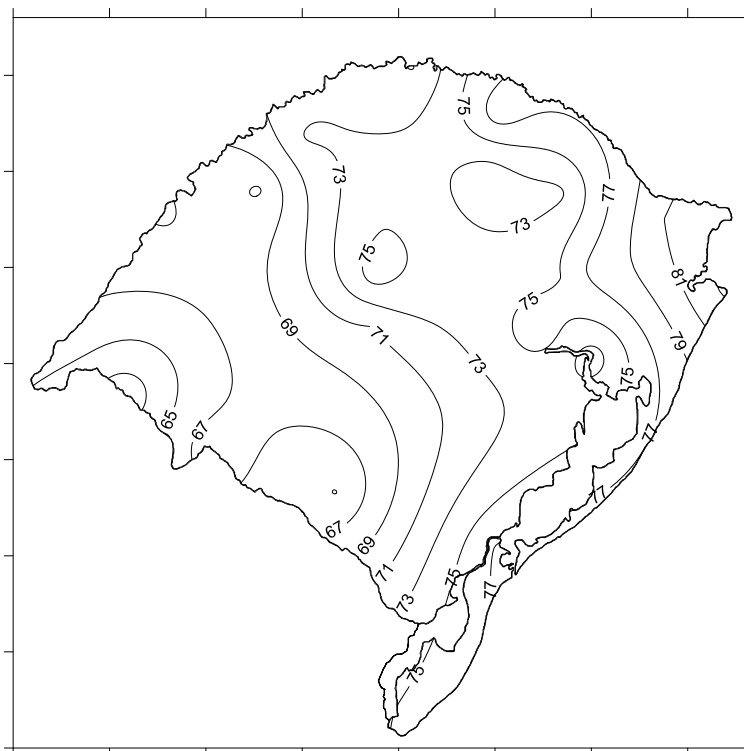


Figura 5 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Janeiro, no período de 1975 a 2009.

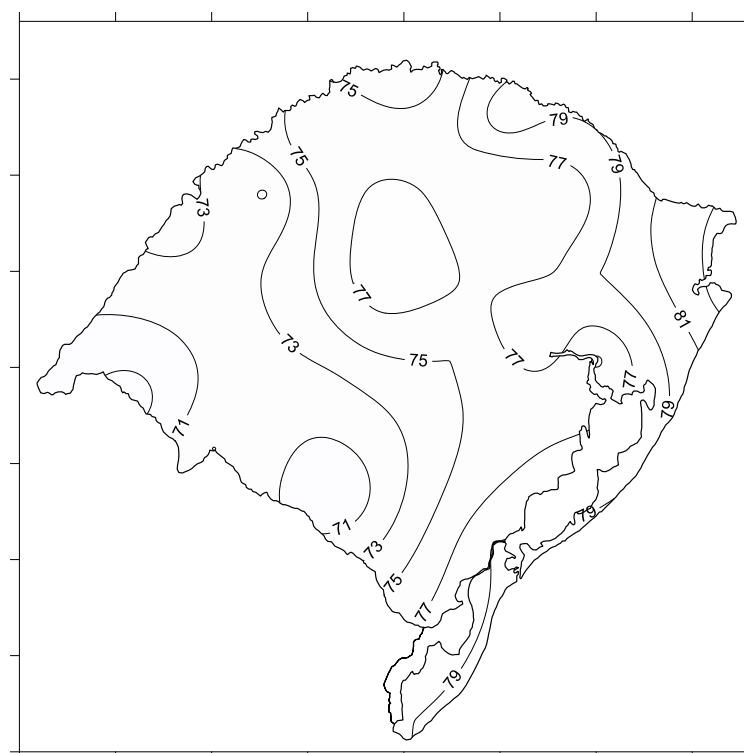


Figura 6 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Fevereiro, no período de 1975 a 2009.

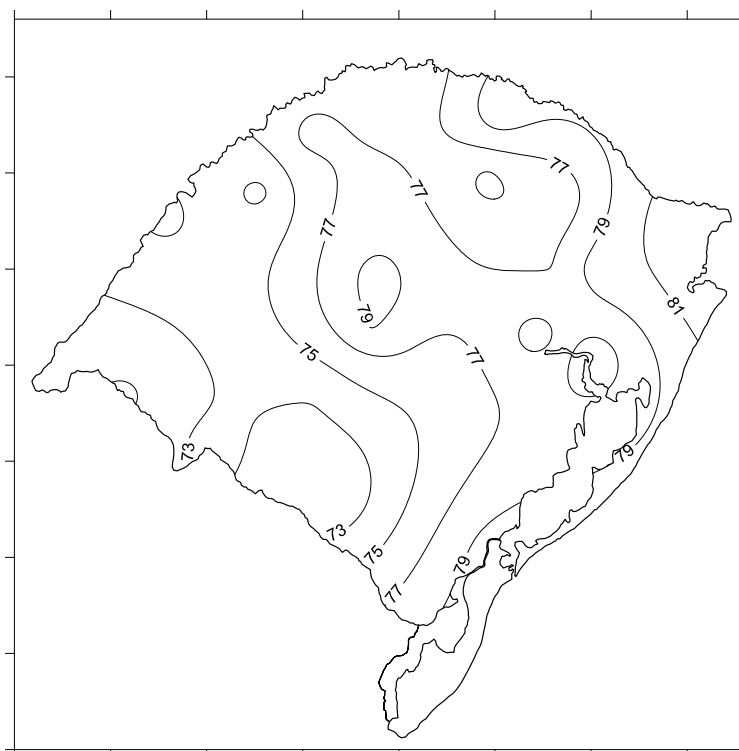


Figura 7 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Março, no período de 1975 a 2009.

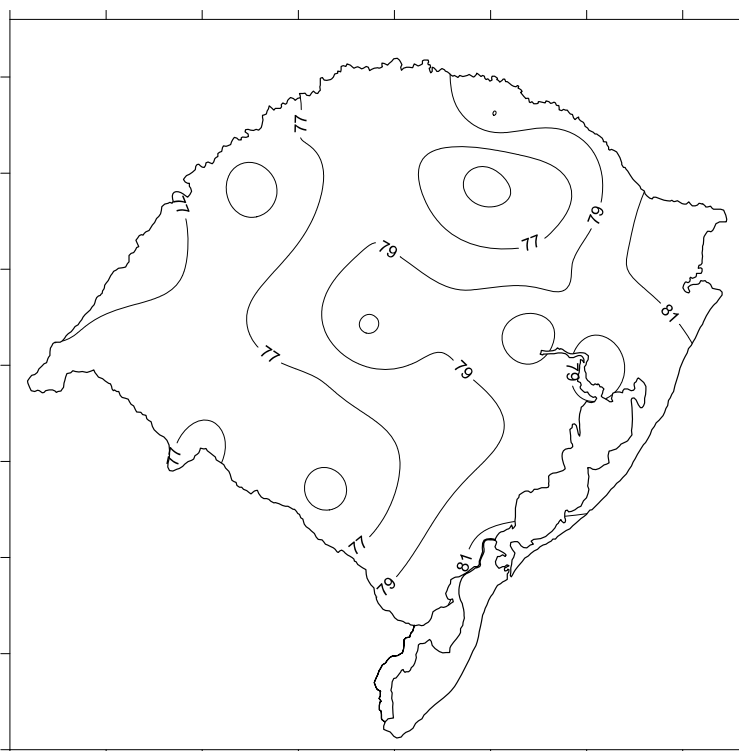


Figura 8 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Abril, no período de 1975 a 2009.

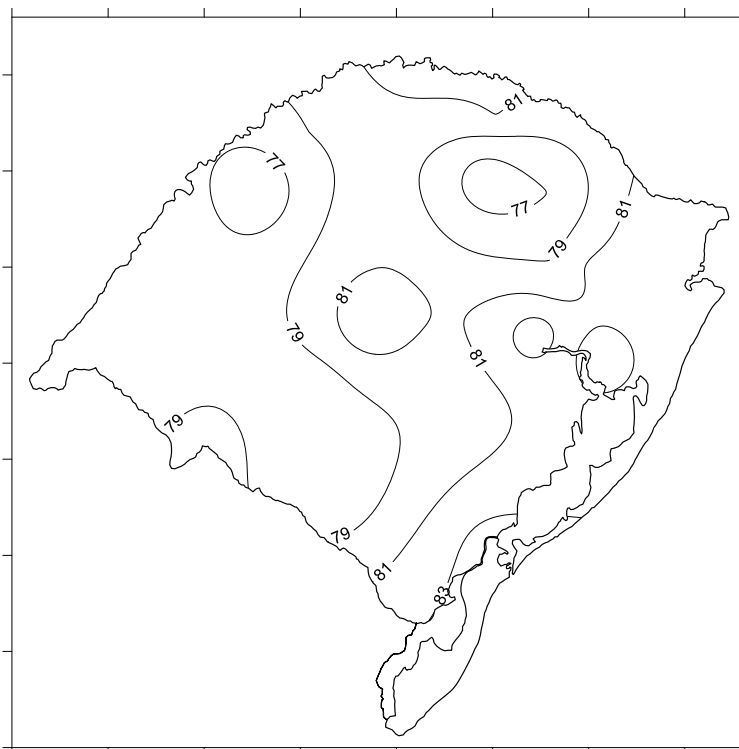


Figura 9 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Maio, no período de 1975 a 2009.

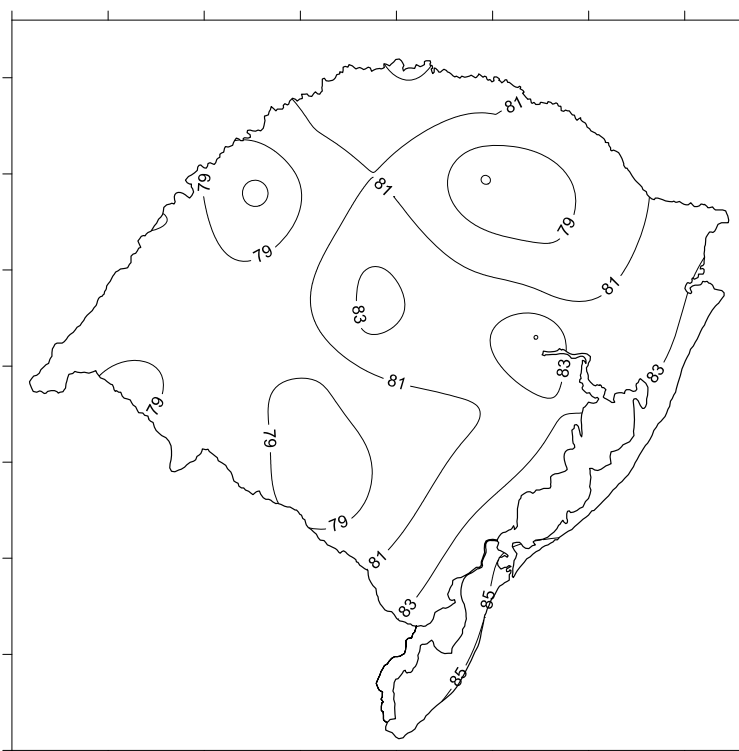


Figura 10 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Junho, no período de 1975 a 2009.

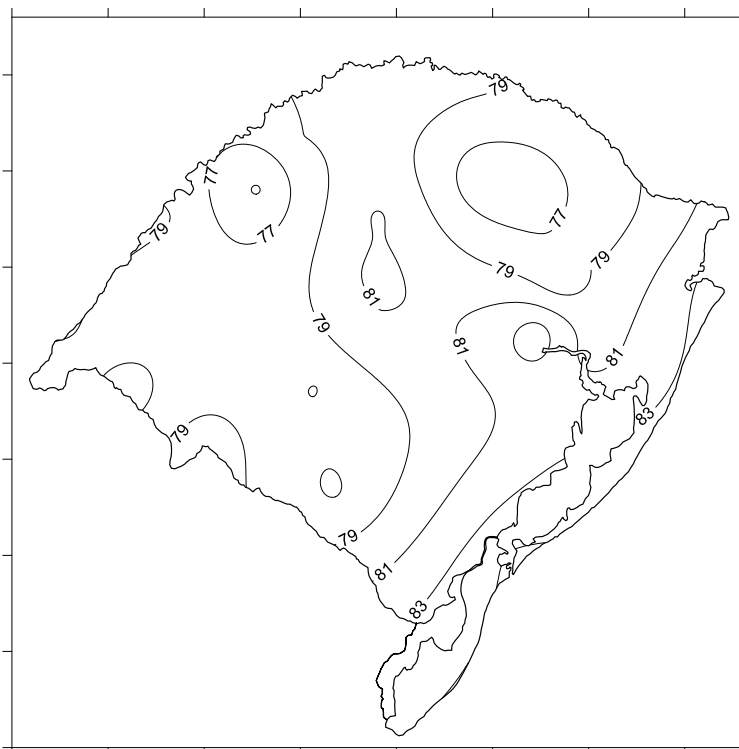


Figura 11 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Julho, no período de 1975 a 2009.

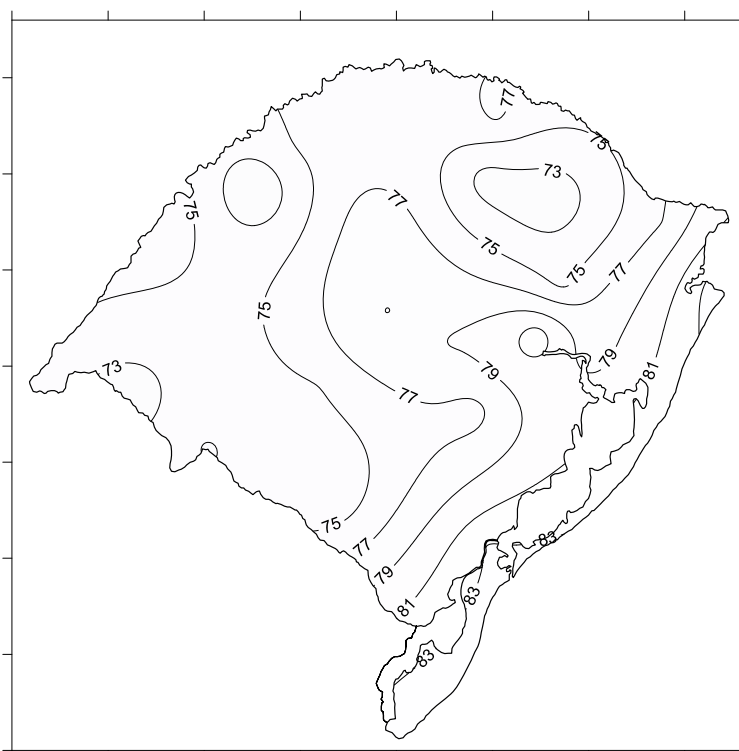


Figura 12 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Agosto, no período de 1975 a 2009.

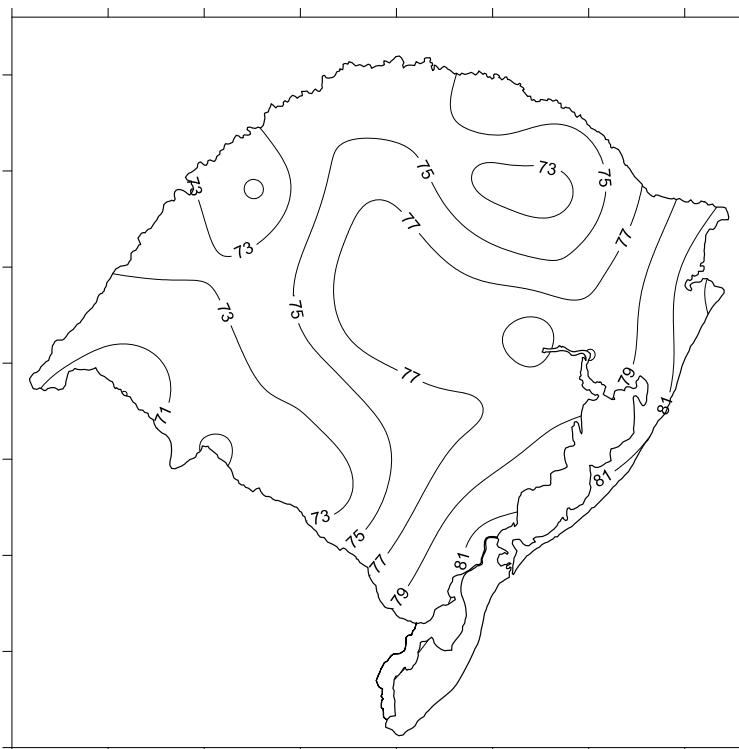


Figura 13 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Setembro, no período de 1975 a 2009.

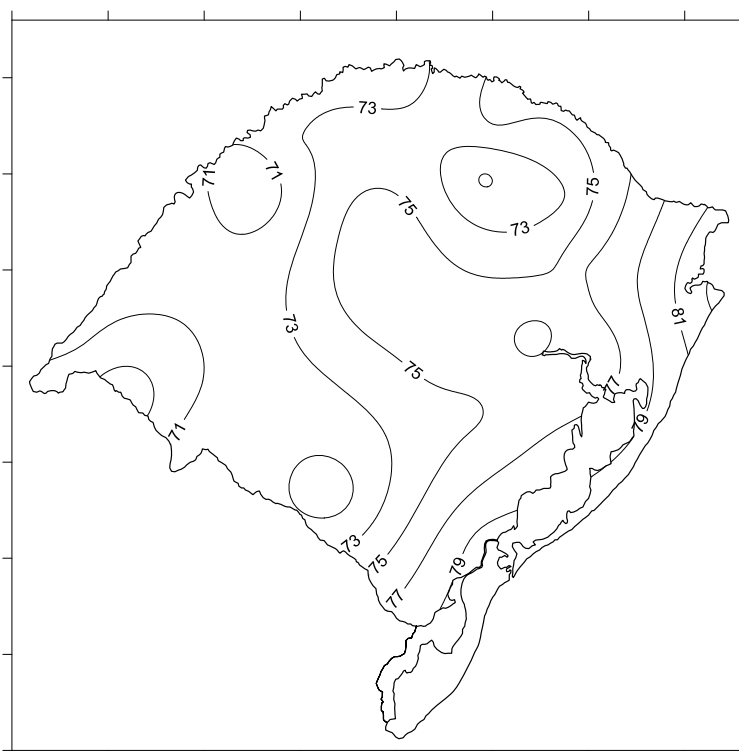


Figura 14 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Outubro, no período de 1975 a 2009.

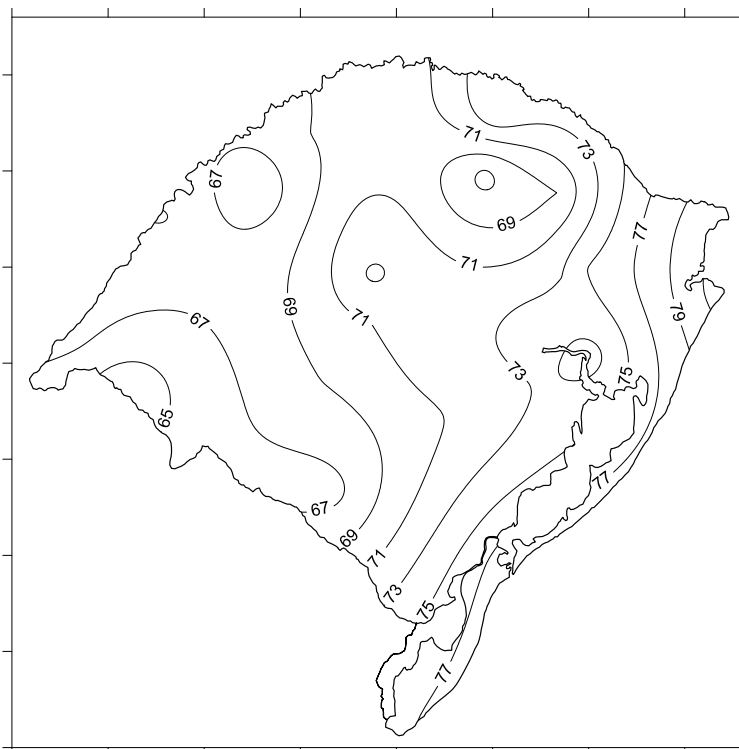


Figura 15 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Novembro, no período de 1975 a 2009.

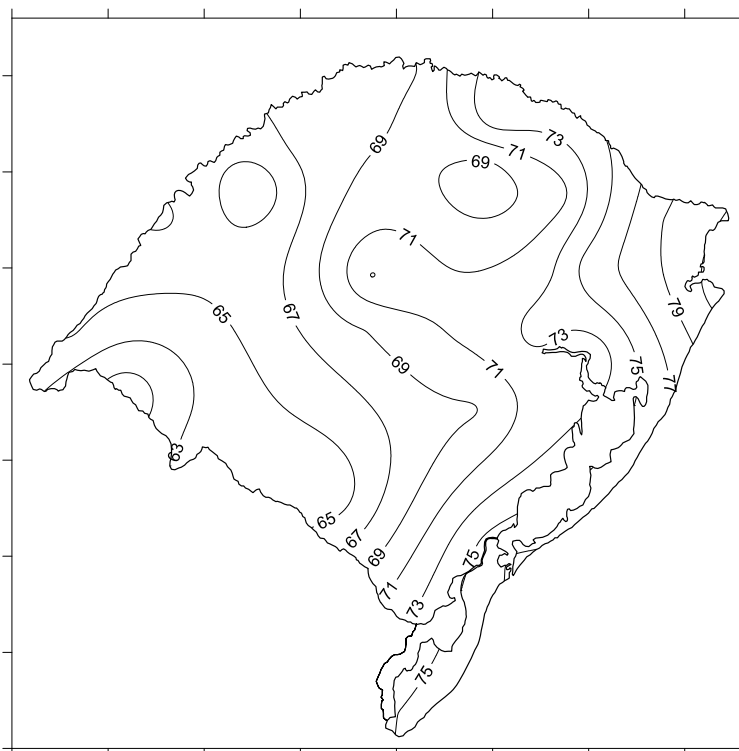


Figura 16 – Mapa de isolinhas de umidade relativa média mensal para o mês de Dezembro, no período de 1975 a 2009.

4.2 Estudo das Regiões Homogêneas

Dos quatros métodos utilizados para determinar as regiões homogêneas, o que melhor representou a climatologia da umidade relativa do ar no Estado do RS foi o método de Ward, diferentemente do método utilizado por Diniz (2002) e Araújo (2005) para a climatologia da temperatura no Estado, em que utilizaram o método da ligação completa, por ser esse o mais coerente. No entanto, os dados utilizados neste trabalho não foram padronizados, pois a padronização dos dados não apresentou resultados tão bons quanto os não – padronizados.

A escolha do número de regiões foi feita de forma subjetiva através do corte no dendrograma, obtendo-se quatro regiões homogêneas, sendo este número de regiões satisfatório na representação dos grupos formados pelas estações meteorológicas. A Fig..16 mostra o dendrograma obtido usando como medida de similaridade a distância euclidiana e o método de agrupamento de Ward, considerando como variável de agrupamento os valores não–padronizados da umidade relativa média mensal do conjunto de estações meteorológicas do Estado do RS para o período de 1975 a 2009.

O nível de similaridade do dendrograma é mostrado no eixo das abscissas (horizontal), em que cada partição corresponde um valor numérico que representa o nível em que ocorrem os agrupamentos, pois a cada nível de agregação implica em uma perda de informação resultante de cada agrupamento. Já as 26 estações meteorológicas são mostradas no eixo das ordenadas (vertical), em que os elementos são formados numa ordem conveniente de grupos. A linha em vermelho mostrada na figura representa o corte feito no dendrograma, a qual mostra os grupos escolhidos (forma subjetiva) para a composição de cada região homogênea.

Dendrogram using Ward Method

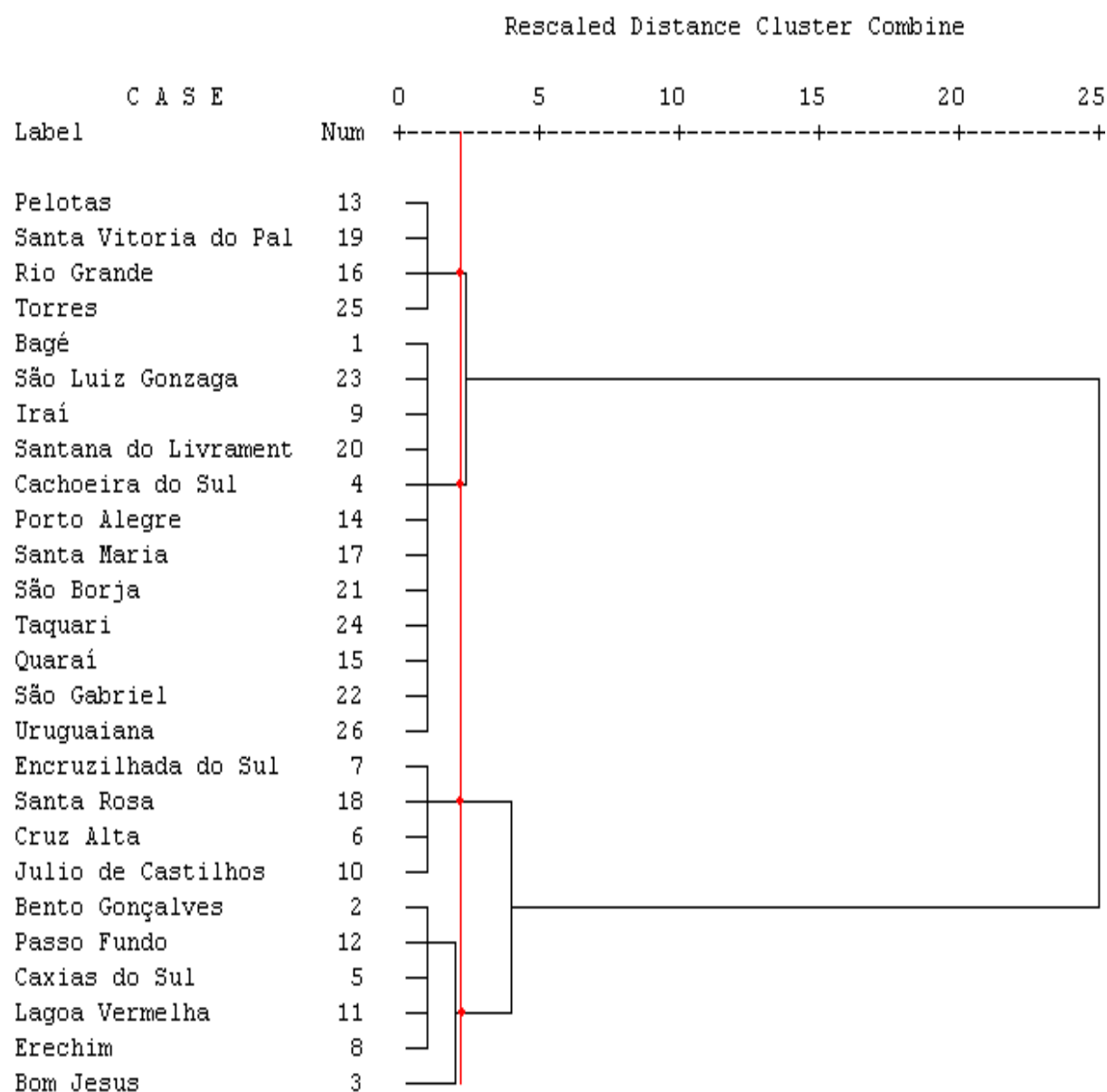


Figura 17 – Dendrograma do agrupamento obtido através do método de Ward com dados de umidade relativa média mensal das 26 estações meteorológicas do Estado do RS para o período de 1975 a 2009.

A tab. 3 mostra as localidades que compõem cada região homogênea da umidade relativa média mensal no Estado. A ordem destas regiões foi escolhida de acordo com a quantidade de estações pertencente em cada grupo, sendo os que continham maior número de estações formaram a Região 1 e assim, sucessivamente.

Tabela 3 – Regiões homogêneas obtidas do agrupamento da umidade relativa do ar média mensal do Estado do RS e as estações meteorológicas pertencentes a cada uma delas, no período de 1975 a 2009.

Regiões	Estações meteorológicas
R ₁	Bagé, São Luiz Gonzaga, Iraí, Santana do Livramento, Cachoeira do Sul, Porto Alegre, Santa Maria, São Borja, Taquari, Quaraí, São Gabriel, Uruguaiana
R ₂	Bento Gonçalves, Passo Fundo, Caxias do Sul, Lagoa Vermelha, Erechim, Bom Jesus
R ₃	Pelotas, Santa Vitória do Palmar, Rio Grande, Torres
R ₄	Encruzilhada do Sul, Santa Rosa, Cruz Alta, Júlio de Castilhos

Foram obtidas regiões homogêneas de umidade relativa média mensal identificadas por R₁, R₂, R₃ e R₄, como podem ser vistas na Fig..18.

A proximidade física das localidades não garante semelhança climática, sendo assim, ocorreram casos em que a mesma região homogênea aparece em diferentes áreas. Como pode ser visto na fig..18, a R₁ aparece na parte Norte e Fronteira Oeste, a R₂ na parte Nordeste, a R₃ ficou localizada em todo o Litoral e a R₄ em parte do Noroeste e parte Central do Estado.



Figura 18 – Regiões homogêneas das médias mensais de UR no Estado do Rio Grande do Sul, período de 1975 a 2009.

Na comparação entre as médias de cada região homogênea, observa-se que todas possuem média alta, ou seja, acima de 70% de umidade relativa, no período de 1975 a 2009. Sendo a média dessa variável, na Região 1 de 75%, na Região 2 e 4 de 77% e na Região 3 de 82%. A diferença entre a região que possui a maior e a menor média de umidade relativa, deve-se às características dessas regiões, por exemplo, quanto mais afastada da costa marítima, os valores de umidade relativa serão menores, portanto, a Região 1 por ser mais continental, é menos úmida que a Região 3.

Araújo (2005) obteve quatro regiões homogêneas para temperaturas médias trimestrais, e observou que as mesmas regiões se encontravam em localidades diferentes no Estado. Também, verificou que a temperatura em todos os trimestres, apresentava os maiores valores na R₄ (parte oeste), e declinava sucessivamente até R₁, parte do extremo Sul e Serra do Nordeste, sendo que, na R₄ ocorre a maior amplitude térmica.

Similarmente, Diniz (2002) obteve quatro regiões homogêneas de temperaturas máximas e mínimas para o RS, em que aparece a mesma região

em locais distintos. Entretanto, verificou que a R₄, localizada na parte oeste do Estado, é mais quente que as demais, pois é mais continental e, portanto, não sofre influência do oceano, que atua como regulador térmico. O que já não ocorre com a R₁, que se situa na Serra do Nordeste e Planalto Superior, onde há a influência da altitude, diminuindo as temperaturas médias.

Quando se refere à localidade mais úmida, tanto do Rio Grande do Sul quanto do Brasil, ressalta-se a cidade de Pelotas, pois há um comentário comum de que esta cidade seria a segunda mais úmida do mundo, perdendo somente para Londres. O que se pode verificar é que Pelotas encontra-se em uma região litorânea, assim como as cidades de Santa Vitória do Palmar, Rio Grande e Torres; portanto, todas essas cidades têm valores de umidade relativa muito próxima, e assim, na divisão das regiões homogêneas, todas se encontram no mesmo grupo, que tem como característica física a aproximação de grandes massas de água. Isto faz com que sejam caracterizadas com o mesmo padrão homogêneo de umidade relativa, apresentando altos valores dessa variável. Quando se observa individualmente as estações meteorológicas desse grupo, nota-se que Pelotas e Santa Vitória do Palmar, são as estações que apresentam os menores valores de umidade relativa do grupo, com 80,7%, seguidas de Rio Grande com 81,4% e sendo Torres a que mais se destaca, com 83,4%.

4.2.1 Climatologia das regiões homogêneas

Na climatologia das regiões homogêneas foram utilizados os dados de umidade relativa média mensal das estações pertencentes a cada região, para o período completo de 1975 a 2009. A partir desses dados, foram obtidos os valores máximos, médios e mínimos dessa variável para todos os meses das quatro regiões homogêneas. Esses valores são mostrados nas tab. 4, 5, 6 e 7 para uma melhor visualização, foram construídos gráficos com os resultados apresentados nas tabelas, exibidos nas Fig.19, 20, 21 e 22 as quais proporcionam o conhecimento da estrutura da umidade de cada região do Estado.

Na tab.4 e Fig.19 referentes à Região 1, observa-se que os maiores valores de umidade relativa ocorrem desde o mês de abril até agosto, estes

são os meses mais frios, os quais o ar se instabiliza mais facilmente devido à sua menor capacidade de reter vapor d'água. O mínimo dessa variável ocorre nos meses de dezembro com 54% e janeiro com 56%, que são os meses mais quentes. Os valores dos mínimos têm uma variação bem acentuada ao longo do ano. Esta região também sofre variações de temperatura bem acentuadas, tanto no período quente, como no frio.

Tabela 4 – Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 1 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.

Meses	Máximo	Médio	Mínimo
Janeiro	77	69	54
Fevereiro	79	73	62
Março	80	75	67
Abril	84	78	69
Maio	86	80	72
Junho	86	81	76
Julho	85	79	73
Agosto	83	76	70
Setembro	79	74	67
Outubro	81	73	63
Novembro	80	69	59
Dezembro	76	67	56

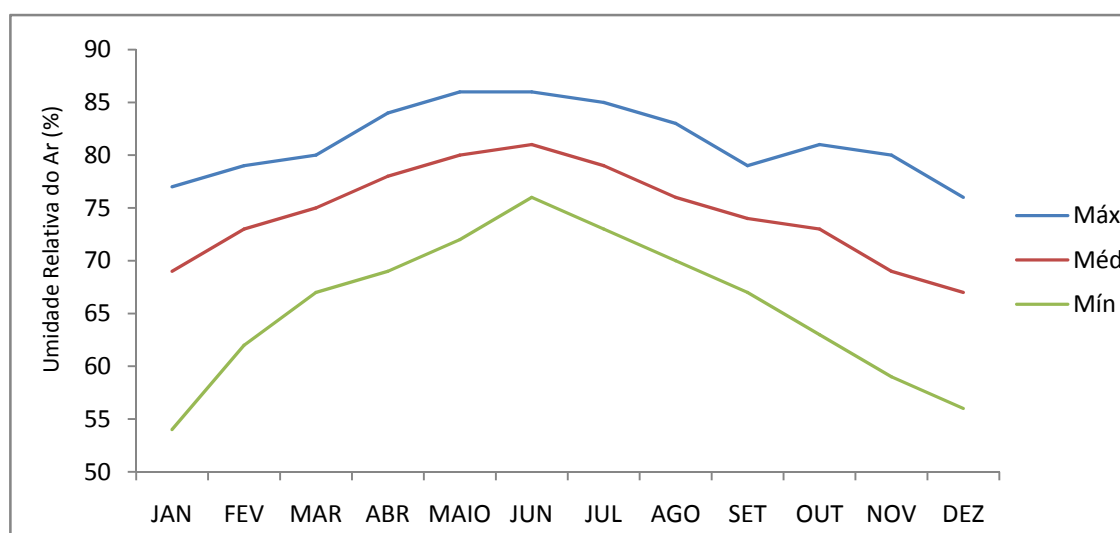


Figura 19 – Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 1, no período de 1975 a 2009.

Para a Região 2, a tab.5 e Fig..20 mostram que o valor mais alto de umidade relativa ocorre no mês de julho (88%). Quanto aos menores valores, estes ocorrem nos meses de janeiro e novembro com 62% em ambos.

Tabela 5 – Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 2 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.

Meses	Máximo	Médio	Mínimo
Janeiro	83	76	62
Fevereiro	86	78	68
Março	85	78	68
Abril	86	79	67
Maio	87	80	65
Junho	86	80	71
Julho	88	78	71
Agosto	84	75	67
Setembro	83	75	70
Outubro	84	75	65
Novembro	81	73	62
Dezembro	80	73	65

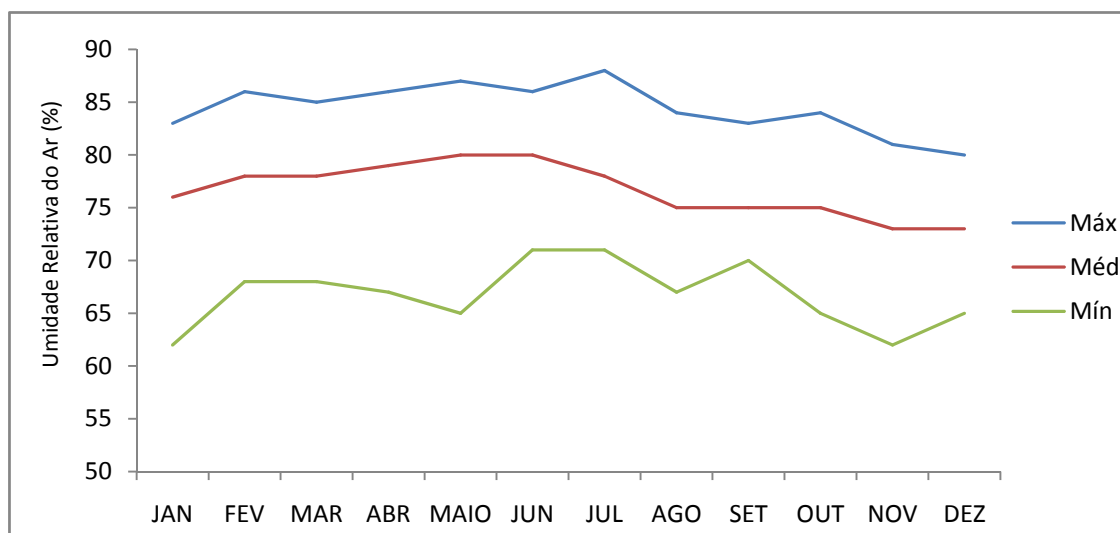


Figura 20 – Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 2, no período de 1975 a 2009.

Na tab.6 e Fig..21 referentes à Região 3, os maiores valores de umidade relativa, ocorrem de maio e junho (90%). Os menores valores de dessa variável ocorrem em janeiro (71%), novembro (72%) e dezembro (71%). Nesta região, a umidade relativa se comporta de modo mais uniforme durante todo o ano, com valores bem elevados, pois a diferença entre o maior e o menor valor é de apenas 19%, a menor diferença entre as quatro regiões.

Tabela 6 – Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 3 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.

Meses	Máximo	Médio	Mínimo
Janeiro	83	78	71
Fevereiro	86	80	74
Março	87	81	77
Abril	86	82	78
Maio	90	83	78
Junho	90	85	77
Julho	89	85	78
Agosto	88	84	80
Setembro	87	83	78
Outubro	87	81	76
Novembro	87	78	72
Dezembro	84	78	71

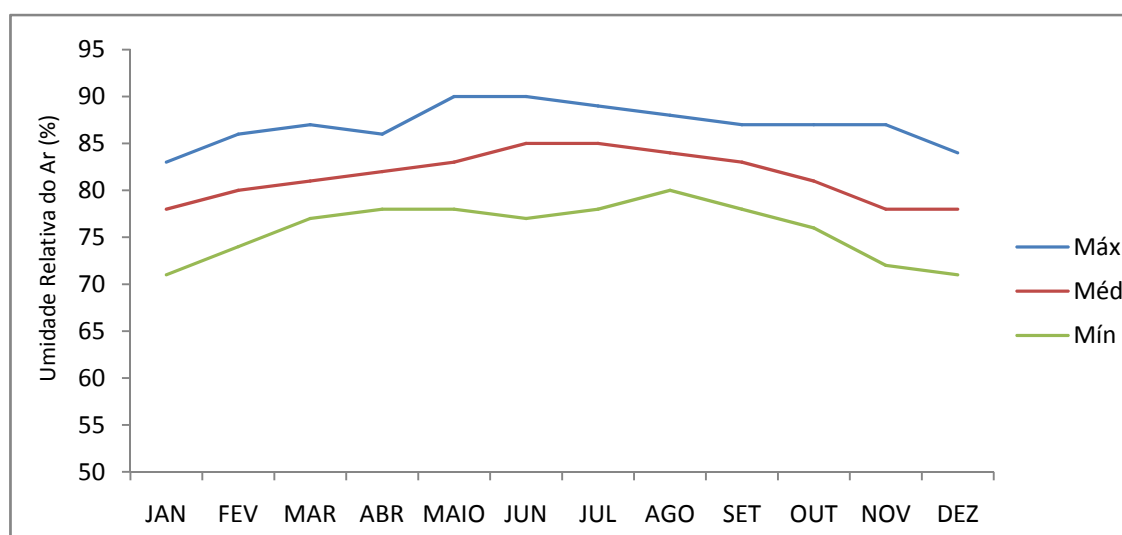


Figura 21 – Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 3, no período de 1975 a 2009.

Para a Região 4 a tab.7 e a Fig..22 mostram que o maior valor de umidade relativa ocorre no mês de julho (90). Os meses de janeiro (55%), novembro (61%) e dezembro (61%) apresentam os menores valores de umidade relativa.

Tabela 7 – Valores máximos, médios e mínimos mensais da umidade relativa do ar para a Região 4 do Estado do RS, no período de 1975 a 2009.

Meses	Máximo	Médio	Mínimo
Janeiro	82	74	55
Fevereiro	86	77	65
Março	86	78	68
Abril	86	78	66
Maio	89	80	67
Junho	88	82	71
Julho	90	80	74
Agosto	86	77	67
Setembro	84	77	69
Outubro	84	75	66
Novembro	80	71	61
Dezembro	77	70	61

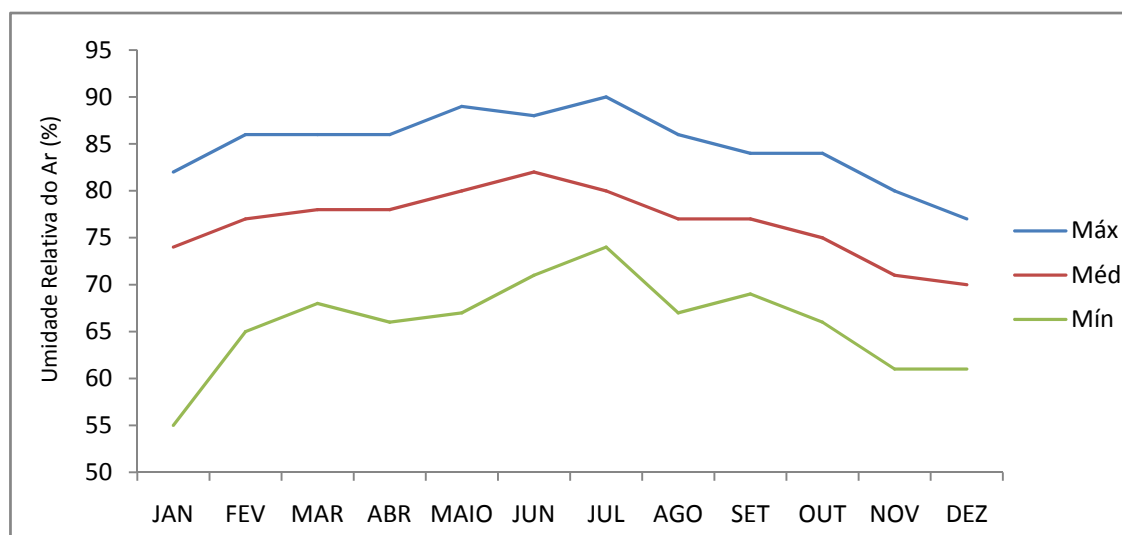


Figura 22 – Comparação do comportamento dos valores de UR médio, máximo e mínimo mensal da Região 4, no período de 1975 a 2009.

Apesar das regiões apresentarem valores diferentes de umidade relativa, em que são mais elevados na Região 3, a qual sofre a maior influência de massas líquidas, pois o valor mais baixo da variável nessa região é 71%, e conforme torna-se mais continental, os valores vão diminuindo, deve-se ressaltar que ao se verificar os valores máximos, médios e mínimos mensais, esta variável apresenta um padrão elevado durante todo o ano, ficando com uma média em torno de 84% para as máximas, 77% para as médias e 69% para as mínimas mensais.

Pode-se observar que em todas as regiões homogêneas a distribuição de umidade relativa segue o mesmo padrão anual, em que sofre variações de acordo com as mudanças das estações do ano, pois no verão encontram-se os menores valores, que vão aumentando até a estação de inverno, chegando aos valores mais altos nos meses de junho e julho, e a partir daí, começam a diminuir novamente. Esta influência sazonal, do ponto de vista físico, deve-se à capacidade do ar em reter maior ou menor quantidade de vapor d'água em função da temperatura. No inverno, com temperaturas mais baixas, diminui a capacidade de reter vapor e o ar se satura mais rapidamente. No verão, com temperaturas mais elevadas, esta capacidade de reter vapor é maior, diminuindo o valor da umidade relativa e, conseqüentemente, a saturação ocorre mais lentamente.

4.2.2 Climatologia das regiões homogêneas através de parâmetros estatísticos

Para este estudo foram utilizados os seguintes parâmetros estatísticos: média, desvio padrão e coeficiente de variação (%). Estes parâmetros expressam a dispersão dos dados em relação à média dando a característica do comportamento da umidade relativa em termos da variabilidade. Estes resultados estão representados nas tab. 8, 9, 10 e 11 referentes a cada região homogênea.

Tabela 8 – Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região 1, para o período de 1975 a 2009.

Meses	Média	Desv. Pad.	Coef. Var. (%)
Janeiro	69	5,1	7,41
Fevereiro	73	4,3	5,95
Março	75	3,6	4,82
Abril	78	3,8	4,95
Maio	80	2,8	3,57
Junho	81	2,7	3,33
Julho	79	2,7	3,41
Agosto	76	3,6	4,79
Setembro	74	3,0	4,10
Outubro	73	4,0	5,43
Novembro	69	4,7	6,83
Dezembro	67	4,3	6,50

Tabela 9 – Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região 2, para o período de 1975 a 2009.

Meses	Média	Desv. Pad.	Coef. Var. (%)
Janeiro	76	5,0	6,52
Fevereiro	78	3,6	4,62
Março	78	4,1	5,27
Abril	79	4,1	5,20
Maio	80	4,2	5,31
Junho	80	3,6	4,52
Julho	78	3,4	4,41
Agosto	75	4,4	5,95
Setembro	75	3,4	4,53
Outubro	75	4,3	5,66
Novembro	73	4,2	5,74
Dezembro	73	3,2	4,37

Tabela 10 – Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região 3, para o período de 1975 a 2009.

Meses	Média	Desv. Pad.	Coef. Var. (%)
Janeiro	78	3,2	4,03
Fevereiro	80	2,8	3,49
Março	81	2,7	3,36
Abril	82	2,4	2,99
Maio	83	2,6	3,09
Junho	85	2,8	3,35
Julho	85	2,6	3,07
Agosto	84	2,0	2,37
Setembro	83	2,0	2,42
Outubro	81	3,0	3,67
Novembro	78	3,1	3,97
Dezembro	78	3,0	3,91

Tabela 11 – Parâmetros estatísticos da umidade relativa média da Região 4, para o período de 1975 a 2009.

Meses	Média	Desv. Pad.	Coef. Var. (%)
Janeiro	74	5,8	7,85
Fevereiro	77	5,2	6,80
Março	78	4,2	5,39
Abril	78	5,0	6,39
Maio	80	4,2	5,30
Junho	82	3,6	4,38
Julho	80	3,4	4,25
Agosto	77	4,3	5,57
Setembro	77	3,5	4,54
Outubro	75	4,3	5,67
Novembro	71	4,3	6,01
Dezembro	70	4,3	6,10

Com relação aos resultados do coeficiente de variação (CV), o qual expressa a variabilidade dos dados em torno da média observa-se que os valores são baixos em todas as regiões, o que é desejável, para as estimativas das médias serem mais precisas; entretanto, quando as regiões são

comparadas entre si, nota-se que o CV varia mais em umas regiões do que em outras. Por exemplo, a variabilidade apresentada no mês de janeiro nas Regiões 1 e 4, é praticamente o dobro daquela ocorrida, no mesmo mês, na Região 3.

Verifica-se, no geral, que a maior variabilidade dos dados, quando se comparam os meses de cada região homogênea, ocorre no período quente e a menor, no período frio. As Regiões 2 e 4 fogem um pouco desse padrão, pois aparece um valor maior de CV no mês de agosto, período frio. Essas diferenças podem ser devidas aos veranicos que ocorrem mais frequentemente nos meses de maio e agosto, influenciando assim, a variabilidade dos dados nessas duas regiões. A Região 1 apresenta uma variação máxima no mês de janeiro de 7,41% e mínima, em junho, de 3,33%. Os valores do coeficiente de variação na Região 2 apresentam-se mais uniformes, não sofrendo tanta variação da estação quente para a fria, como ocorre na Região 1. A Região 3 também apresenta uma variação anual uniforme, mas com valores menores de CV, pois em janeiro a variação é máxima com 4,03% e em agosto é mínima, com 2,37%. A Região 4 se comporta de forma semelhante à Região 1, tendo maior variação no mês de janeiro com 7,85% e a menor, em julho, com 4,25%.

4.3 Estudo da Tendência Linear

Para o estudo da tendência linear dos dados foi necessário verificar se os dados de cada região homogênea apresentavam homogeneidade de variâncias e normalidade, aplicando os testes de Cochran e Kolmogorov-Smirnov.

Os cálculos da homogeneidade de variâncias e da normalidade para cada região homogênea foram os seguintes:

- Para o teste de Cochran, com nível de significância de 5%, número de variâncias igual a 12 e 34 graus de liberdade (35 anos):

$$C_{\text{tab}}(0,05; 12; 34) = 0,1436$$

$\underline{R}_1$: $C_{\text{calc}} = 0,1497 \rightarrow \text{significativo} \rightarrow \text{variâncias não-homogêneas}$

$\underline{R}_2$: $C_{\text{calc}} = 0,1287 \rightarrow$ não significativo $\rightarrow$ variâncias homogêneas

$\underline{R}_3$: $C_{\text{calc}} = 0,1128 \rightarrow$ não significativo $\rightarrow$ variâncias homogêneas

$\underline{R}_4$: $C_{\text{calc}} = 0,1454 \rightarrow$ significativo $\rightarrow$ variâncias não-homogêneas

- Para o teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 5% e 35 anos de dados:

$D(0,05; 35) = 0,230 \rightarrow$ valor tabelado.

$\underline{R}_1$: $d = \in [0,0595; 0,1405] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_2$: $d = \in [0,0733; 0,1538] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_3$: $d = \in [0,0772; 0,1386] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_4$: $d = \in [0,0667; 0,1674] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

Verificou-se através do teste de Cochran que as Regiões 2 e 3 foram não significativas, apresentando homogeneidade de variâncias, enquanto que nas Regiões 1 e 4, o teste foi significativo para ambas. Entretanto, nessas regiões que foram significativas, como os resultados da diferença entre os valores calculados e os da tabela foram muito pequenos, cerca de 0,0061 para a Região 1 e 0,0018 para a Região 4, pôde-se aceitá-las como homogêneas. Na verificação do teste de Kolmogorov-Smirnov em todas as regiões homogêneas, todos os meses apresentaram-se como não significativos, ou seja, dados seguem aproximadamente à normalidade. Portanto, os dados das quatro regiões estudadas podem ser aceitos como tendo variâncias homogêneas e normalidade.

A partir da verificação dos dados, fez-se o cálculo da tendência linear dos dados para cada região homogênea no período de 1975 a 2009 (420 meses). Abaixo estão as equações de regressão linear avaliadas pelo teste t (5%).

R₁: Tendência linear não significativa

$$\hat{y} = 73,996 + 0,0018X \quad p = 0,448 \quad (44)$$

R₂: Tendência linear significativa

$$\hat{y} = 75,364 + 0,0058X \quad p = 0,0014 \quad (45)$$

R₃: Tendência linear significativa

$$\hat{y} = 80,513 + 0,0048X \quad p = 0,0007 \quad (46)$$

R₄: Tendência linear não significativa

$$\hat{y} = 76,561 + 0,0008X \quad p = 0,726 \quad (47)$$

com $X = 1, 2, 3, \dots, 420$ meses.

A partir dessas equações foram construídos os gráficos da tendência linear da umidade relativa média mensal para os 420 meses.

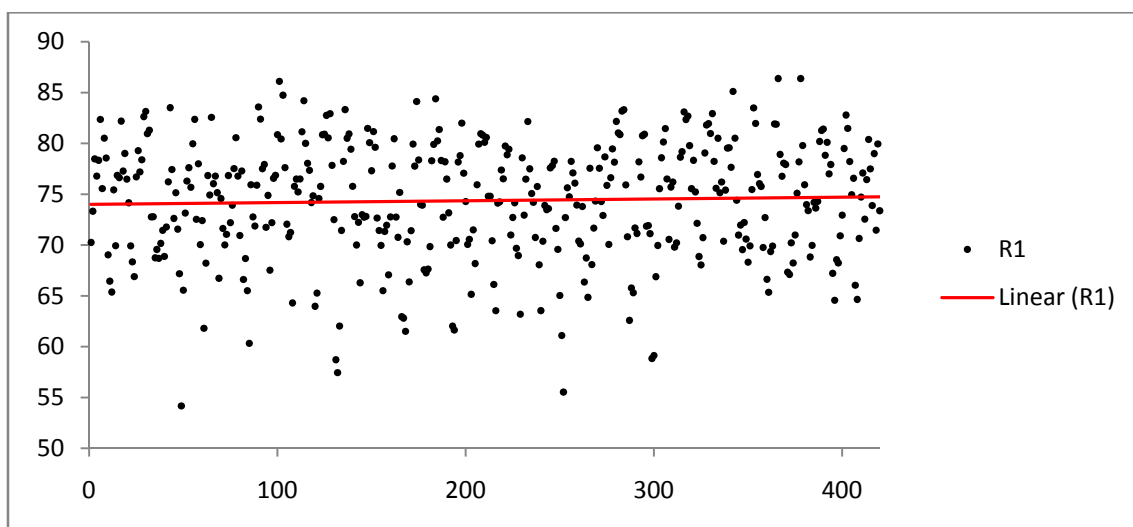


Figura 23 - Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 1 para o período de 1975 a 2009.

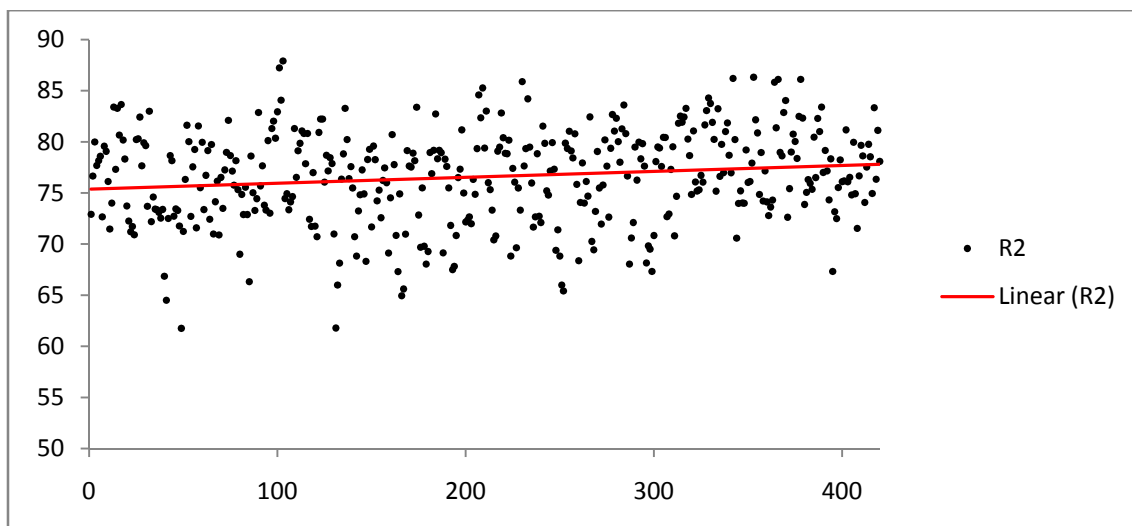


Figura 24 - Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 2 para o período de 1975 a 2009.

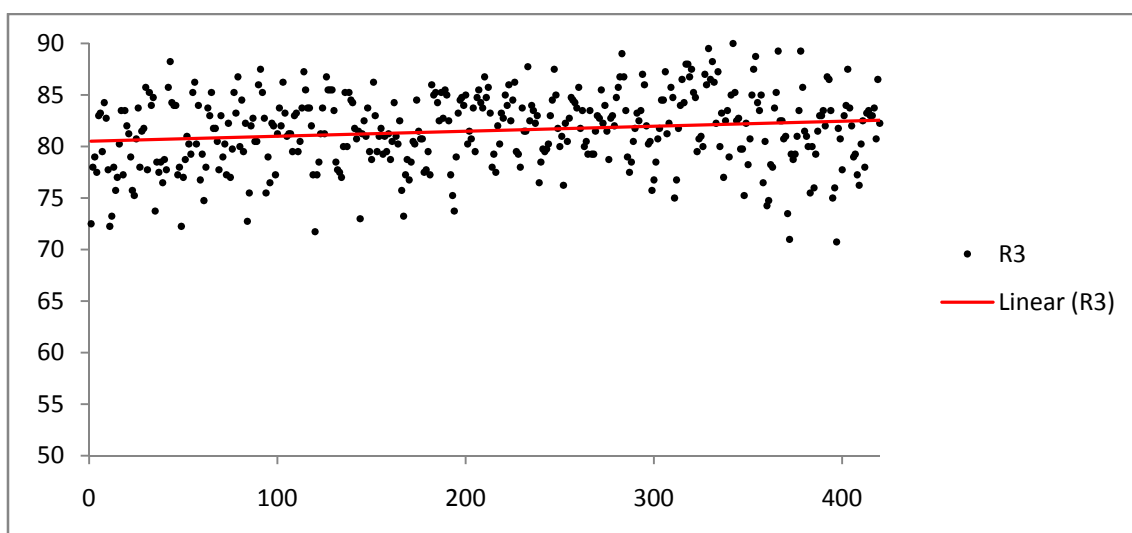


Figura 25 - Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 3 para o período de 1975 a 2009.

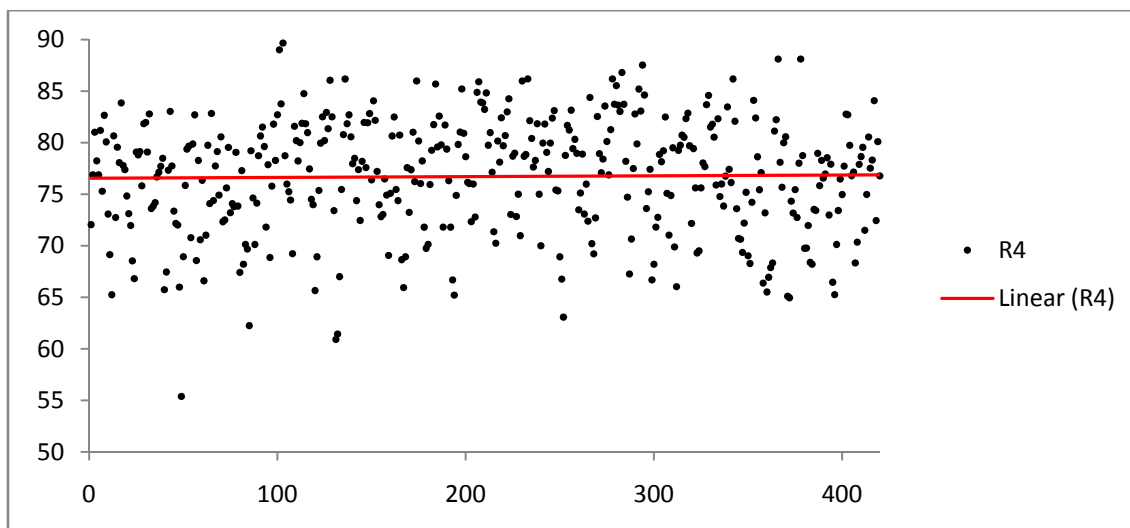


Figura 26 - Gráfico de dispersão dos dados com a tendência linear da Região 4 para o período de 1975 a 2009.

Com os resultados da tendência linear, pode-se verificar que a Região 2 e a Região 3 apresentaram tendência significativa, sendo esta tendência positiva, indicando que a variável umidade relativa sofreu um aumento ao longo dos anos de estudo. Para se saber qual foi o aumento que a variável teve nesse período, fez-se o cálculo do aumento mensal (eq. 17), para os 420 meses de dados, ou seja, de 1975 a 2009. Portanto, pode-se observar que o valor do aumento nessas duas regiões é muito pequeno (tab. 12), pois a Região 2 tem aumento de 0,006% e a Região 3 de 0,005% ao mês. Nota-se na comparação entre os valores do aumento mensal da Região 2 e 3, que ambas apresentam uma diferença muito pequena. Ao longo dos 35 anos a umidade relativa teve um aumento de 2,52% para a Região 2 e 2,10% para a Região 3.

Tabela 12 – Cálculo do aumento mensal da UR para as Regiões que apresentaram tendências lineares significativas para o período de 1975 a 2009.

Regiões	$\hat{y}$ (1)	$\hat{y}$ (420)	$A_m(\%)$	$A_{anual}(\%)$	$A_{35anos}(\%)$
2	75,369	77,804	0,006	0,07	2,52
3	80,519	82,529	0,005	0,06	2,10

Observação: O símbolo de porcentagem refere-se a unidade da variável umidade relativa do ar, e não o aumento em porcentagem.

4.4 Estudo da Análise Harmônica

Antes da aplicação da análise harmônica, todos os dados foram ajustados para um mês de 30 dias.

As médias dos dados ajustados da umidade relativa média mensal para as quatro regiões homogêneas foram submetidas à análise harmônica, após verificadas as propriedades de homogeneidade de variâncias, de normalidade e de estacionaridade. Em tais verificações foram utilizados os testes de Cochran, de Kolmogorov- Smirnov e regressão linear (teste t).

Esses modelos são identificados como “para um ano médio” pelas condições da análise. As ondas senoidais (harmônicos) foram escolhidas, para o modelo pela magnitude de suas amplitudes, estimadas pelo periodograma, sendo a onda anual incluída em todos os modelos, mesmo em regiões em que não se mostrou com destaque, como acontece na Região 2, por ser a única onda que tem realidade física comprovada, devido ao movimento de translação da Terra (periodicidade de 12 meses). As médias com os dados ajustados para os 12 meses da umidade relativa média mensal são mostrados na tabela seguinte.

Tabela 13 – Dados ajustados das médias de umidade relativa média mensal

Meses	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
1	66,75	74,18	75,85	71,59
2	77,49	84,20	85,42	81,64
3	72,13	77,52	78,36	75,44
4	77,57	81,01	81,91	78,39
5	76,98	80,00	80,80	77,45
6	80,70	83,23	84,67	81,63
7	76,57	79,49	81,85	77,81
8	73,51	77,20	81,08	74,77
9	74,30	80,74	82,64	76,89
10	70,36	78,83	78,72	72,81
11	68,94	79,48	78,46	71,34
12	64,74	78,42	75,08	67,90
Média	73,34	79,52	80,40	75,64

- Os resultados do teste de Cochran, com nível de significância de 5%, número de variâncias igual a 12 e 34 graus de liberdade (35 anos), foram os seguintes:

$$C_{\text{tab}}(0,05; 12; 34) = 0,1436$$

$\underline{R}_1$: $C_{\text{calc}} = 0,1425 \rightarrow$ não significativo $\rightarrow$ variâncias homogêneas

$\underline{R}_2$: $C_{\text{calc}} = 0,1223 \rightarrow$ não significativo $\rightarrow$ variâncias homogêneas

$\underline{R}_3$: $C_{\text{calc}} = 0,1235 \rightarrow$ não significativo $\rightarrow$ variâncias homogêneas

$\underline{R}_4$: $C_{\text{calc}} = 0,1503 \rightarrow$ significativo $\rightarrow$ variâncias não-homogêneas

Observação: para a Região 4, como a diferença entre o C_{calc} e o C_{tab} foi muito pequena, aproximadamente 0,0067, pode-se aceitar as variâncias como homogêneas.

- Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de significância de 5% e 35 anos de dados foram os seguintes:

$$D(0,05; 35) = 0,230 \rightarrow \text{valor tabelado}$$

$\underline{R}_1$: $d = \in [0,0595; 0,1405] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_2$: $d = \in [0,0733; 0,1538] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_3$: $d = \in [0,0772; 0,1386] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

$\underline{R}_4$: $d = \in [0,0668; 0,1674] \rightarrow$ não significativo para todos os meses

Para verificar a estacionaridade dos dados utilizou-se a regressão linear (teste t com 5% de significância), em que as equações desta análise são mostradas a seguir:

R₁: Tendência linear não significativa → dados estacionários

$$\hat{y} = 76,57 - 0,4975X \quad p = 0,2388 \quad (48)$$

*R₂: Tendência linear significativa → dados não-estacionários

$$\hat{y} = 79,524 - 0,6126X \quad p = 0,0263 \quad (49)$$

R₃: Tendência linear não significativa → dados estacionários

$$\hat{y} = 81,925 - 0,2342X \quad p = 0,4083 \quad (50)$$

R₄: Tendência linear não significativa → dados estacionários

$$\hat{y} = 79,526 - 0,5979X \quad p = 0,0863 \quad (51)$$

com $X = 1, 2, 3, \dots, 12$ meses.

*Observação: para a eliminação da tendência, tem-se:

$$w = y + 0,6126X \quad (52)$$

ou seja, obtém-se a série sem tendência.

A equação de regressão linear abaixo mostra que a tendência foi eliminada (teste t não significativo).

$$\hat{w} = 79,524 + 0,000004X \quad p = 0,9999 \quad (53)$$

A seguir, estão as verificações da comparação do modelo com os dados observados (ajustados), para as quatro regiões homogêneas, cujos modelos representam no mínimo 80% da variabilidade (R^2) entre os dados.

Região 1

Na Região 1 foi utilizada a equação abaixo considerando os seguintes harmônicos:

$$y_{t\text{anual}} = - (4,2165) \cos (0,5236t) + (3,7097) \sin (0,5236t) \quad (54)$$

$$R^2 = 0,725$$

$$y_{t\text{2,4 meses}} = - (0,7591) \cos (2,6180t) + (2,0153) \sin (2,6180t) \quad (55)$$

$$R^2 = 0,107$$

Portanto, a função que representa o comportamento dos dados da Região 1 é expressa pelo modelo:

$$y_t = \bar{y} + y_{t\text{anual}} + y_{t\text{2,4 meses}} \quad (56)$$

onde,

$$\bar{y} = 73,34$$

$$t = 0, 1, 2, 3, \dots, 11 \text{ meses.}$$

O gráfico do modelo para a Região 1, em função dos meses do ano, é apresentado a seguir:

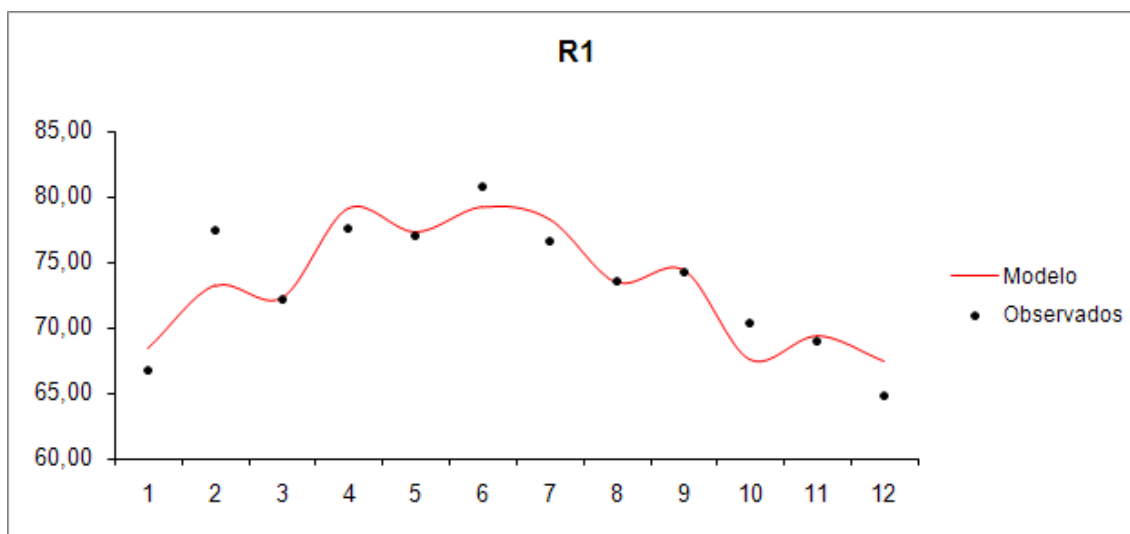


Figura 27 - Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 1, comparado com o modelo harmônico.

Para a Região 1 o modelo utilizou duas ondas, a onda anual com 72,5% e a onda de 2,4 meses com 10,7%, sendo a soma total de R^2 igual a 83,2%, representando a variabilidade dos dados. Pode-se constatar que a diferença máxima entre as estimativas do modelo, e os valores dos dados mensais foi de 4,2 no mês de fevereiro. A estimativa desse modelo foi a que apresentou a melhor coerência com o ciclo anual da umidade relativa, em que os valores mínimos ocorrem nos meses quentes e os máximos nos meses frios. Isto porque, neste modelo a onda anual se sobressai em relação às outras.

Região 2

Para a Região 2 foram considerados os seguintes harmônicos:

$$y_{t^{\text{anual}}} = - (0,8819) \cos (0,5236t) + (0,9555) \sin (0,5236t) \quad (57)$$

$$R^2 = 0,069$$

$$y_{t,2,4 \text{ meses}} = - (1,5133) \cos (2,6180t) + (1,7371) \sin (2,6180t) \quad (58)$$

$$R^2 = 0,228$$

$$y_{t,\text{bimestral}} = - (1,9137) \cos (3,1415t) \quad (59)$$

$$R^2 = 0,555$$

A função que representa o comportamento dos dados da Região 2 é expressa pelo modelo:

$$y_t = \bar{y} + y_{t,\text{anual}} + y_{t,2,4 \text{ meses}} + y_{t,\text{bimestral}} \quad (60)$$

onde,

$$\bar{y} = 79,52$$

$$t = 0, 1, 2, 3, \dots, 11 \text{ meses.}$$

O gráfico do modelo para a Região 2, em função dos meses do ano, é apresentado a seguir:

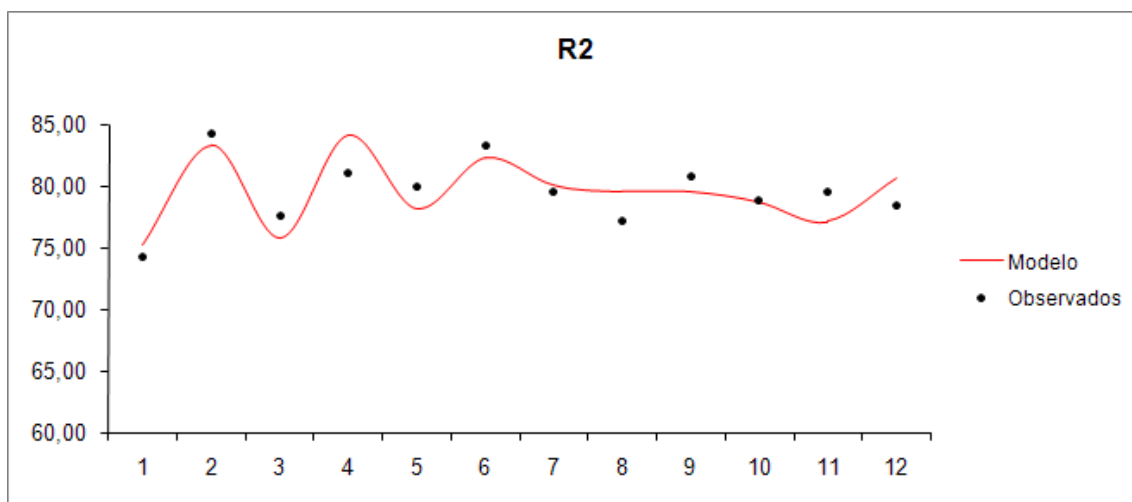


Figura 28 - Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 2, comparado com o modelo harmônico.

Na Região 2 o modelo utilizou três ondas, a onda anual com 6,9%, a onda de 2,4 meses com 22,8% e a onda bimestral com 55,5%, sendo a soma total de R^2 igual a 85,2% de variabilidade dos dados. A máxima diferença entre as estimativas do modelo, e os valores dos dados mensais é de 3,1 no mês de abril. Neste modelo, observa-se que a partir o mês de julho a oscilação diminui, isto pode ser, devido a inclusão da onda anual.

Região 3

Para a Região 3 foram considerados os seguintes harmônicos:

$$y_{t\text{anual}} = - (2,3081) \cos (0,5236t) + (1,4124) \sin (0,5236t) \quad (61)$$

$$R^2 = 0,388$$

$$y_{t\text{quadrimestral}} = (0,1031) \cos (1,5708t) + (1,7908) \sin (0,1,5708t) \quad (62)$$

$$R^2 = 0,171$$

$$y_{t\text{2,4 meses}} = - (0,7914) \cos (2,6180t) + (1,9707) \sin (2,6180t) \quad (63)$$

$$R^2 = 0,239$$

A função que representa o comportamento dos dados da Região 3 é expressa pelo modelo:

$$y_t = \bar{y} + y_{t\text{anual}} + y_{t\text{quadrimestral}} + y_{t\text{2,4 meses}} \quad (64)$$

onde,

$$\bar{y} = 80,40$$

$t = 0, 1, 2, 3, \dots, 11$ meses.

O gráfico do modelo para a Região 3, em função dos meses do ano, é apresentado a seguir:

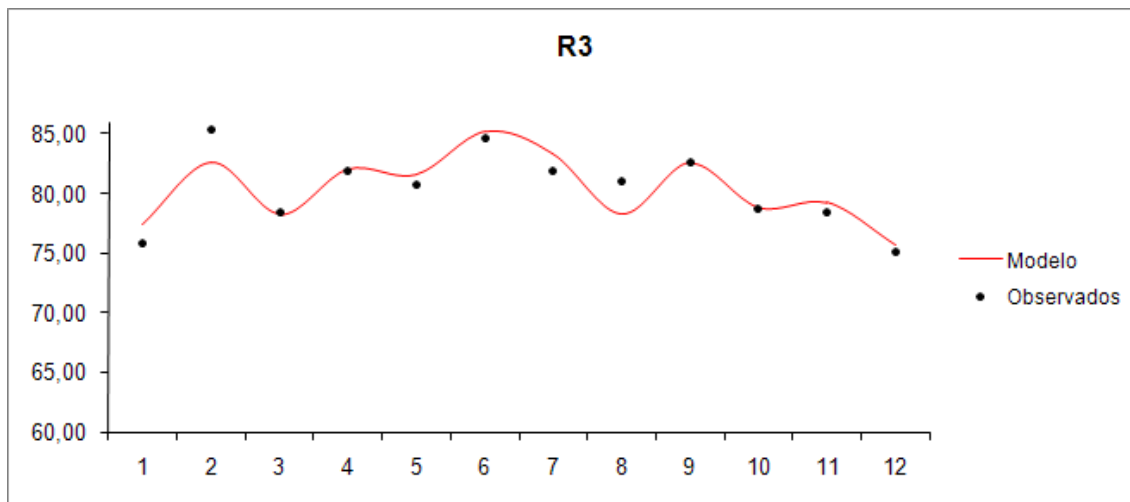


Figura 29 - Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 3, comparado com o modelo harmônico.

Na Região 3 o modelo utilizou, a onda anual com 38,8%, a onda quadrimestral 17,1% e a onda de 2,4 meses com 23,9%, totalizando três ondas, com R^2 igual a 80% de variabilidade dos dados. A máxima diferença entre as estimativas do modelo, e os valores dos dados mensais é de 2,8 nos meses de fevereiro e agosto.

Região 4

Para a Região 4 foram considerados os seguintes harmônicos:

$$y_{t\text{anual}} = - (2,6561) \cos (0,5236t) + (3,3181) \sin (0,5236t) \quad (65)$$

$$R^2 = 0,563$$

$$y_{t\text{quadrimestral}} = (0,2216) \cos (1,5708t) + (2,5020) \sin (0,1,5708t) \quad (66)$$

$$R^2 = 0,197$$

$$y_{t,2,4 \text{ meses}} = - (0,6754) \cos (2,6180t) + (1,9736) \sin (2,6180t) \quad (67)$$

$$R^2 = 0,150$$

A função que representa o comportamento dos dados da Região 4 é expressa pelo modelo:

$$y_t = \bar{y} + y_{t\text{anual}} + y_{t\text{quadrimestral}} + y_{t,2,4 \text{ meses}} \quad (68)$$

onde,

$$\bar{y} = 75,64$$

$$t = 0, 1, 2, 3, \dots, 11 \text{ meses.}$$

O gráfico do modelo para a Região 4, em função dos meses do ano, é apresentado a seguir:

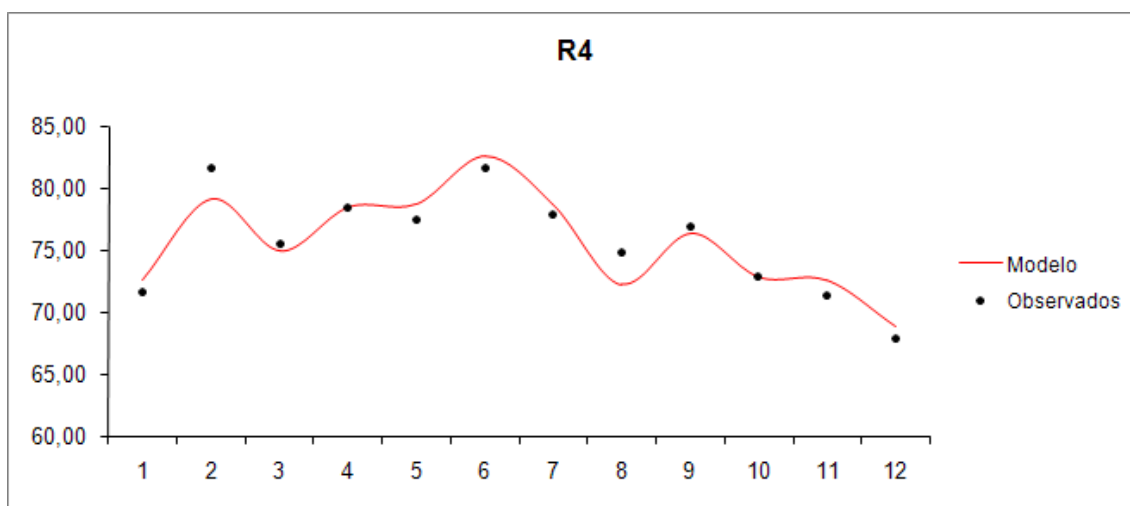


Figura 30 - Comportamento médio da UR (dados ajustados) ao longo dos 12 meses do ano, para a Região 4, comparado com o modelo harmônico.

Na Região 4 também foram utilizadas 3 ondas no modelo, a onda anual com 56,3%, a onda quadrimestral 19,7% e a onda de 2,4 meses com 15%, com R^2 igual a 91% de variabilidade dos dados. A máxima diferença entre as estimativas do modelo, e os valores dos dados mensais foi de 2,5 para os meses de fevereiro e agosto. Nesta região, como na Região 1, a onda anual é mais relevante que as outras, não tanto como naquela, mas pode-se observar que o modelo segue o padrão anual da umidade relativa.

Tem-se os valores críticos estimados pelos modelos de cada região, em que a Região 1 tem máximo de 79,2% (jun) e mínimo de 67,5% (dez), a Região 2 o máximo é de 84,1% (abr) e o mínimo de 75,2% (jan), a Região 3 tem máximo de 85,2% (jun) e mínimo de 75,2% (dez) e a Região 4 o máximo é de 82,5% (jun) e mínimo de 68,7% (dez)

Baptista da Silva (2002), trabalhando com dados de umidade relativa média mensal de Pelotas, concluiu que a sazonalidade dessa variável é descrita apenas pela onda anual, com uma representatividade de 96%. Semelhantemente, Ribeiro (2003), usando dados de radiação solar média mensal da mesma localidade, estabeleceu um modelo de uma única onda (onda anual), com alta representatividade. Parece-nos que a simplicidade dos modelos está em consonância com o uso de dados de uma única localidade.

Quando se trabalham com regiões homogêneas, utilizam-se dados médios de várias estações meteorológicas, o que parece dificultar a expressão da sazonalidade por modelos simples de uma única onda.

Em resumo, a onda de 2,4 meses (onda de alta frequência) por sua representatividade foi incluída em todos os modelos. A onda anual apresentou representatividade para ser incluída em 75% dos modelos; entretanto, como é a única onda com realidade comprovada, pelo movimento de translação da terra (ciclo anual) foi incluída também em todos os modelos. A onda quadrimestral participou de 50% dos modelos, e a onda bimestral em apenas um deles (25%).

5 CONCLUSÃO

Conforme, os objetivos propostos nesse trabalho, de acordo com as análises feitas, podemos concluir que:

A umidade relativa do ar apresenta seus valores mais elevados na faixa litorânea, devido aos fluxos de umidades vindos do oceano, além da evaporação da Laguna dos Patos e da Lagoa Mirim, e esta variável vai diminuindo conforme avança em direção ao continente, e também em localidades com altitudes mais elevadas, para todos os meses do ano.

Quatro regiões homogêneas foram estabelecidas que representassem adequadamente as características climatológicas da umidade relativa no Estado do Rio Grande do Sul, por meio da Análise de Agrupamento, segundo o método de Ward.

O comportamento característico da variável nas regiões homogêneas apresenta um padrão anual de valores elevados em todo Estado. A variabilidade dos dados em torno da média apresenta-se de forma mais destacada nas Regiões 1 e 4, do que nas Regiões 2 e 3.

Nota-se que nas regiões homogêneas, somente as Regiões 2 e 3 apresentam tendências significativas, expressando um aumento mensal da umidade relativa ao longo dos meses de apenas 0,006 e 0,005, respectivamente.

Os modelos propostos pela análise harmônica são constituídos de duas ou três ondas senoidais e representam de 80 a 91% da variabilidade dos dados. A quinta harmônica (2,4 meses) destacou-se em todos os modelos, seguido da onda anual, com 75% de destaque (apenas não sendo expressiva

na Região 2). A onda quadrimestral mostrou-se importante em 50% dos modelos.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, E. **Análise harmônica**. Pesquisa agropecuária brasileira, Rio de Janeiro, RJ, v.3, 1968. p.7-34.

ARAÚJO, S. M. B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias no Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPel, 2005. 54f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de Estatística à Climatologia: Teoria e Prática**. Pelotas: Editora Universitária-UFPel, 1996. 161p.

ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre: SCP/DEPLAN. Disponível em: <http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/#> Atualizado em: 10/02/2011. Acesso em 01 mar. 2011.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332p.

BAPTISTA DA SILVA, J. **Análise harmônica das precipitações pluviométricas pentadais**. Pelotas: UFPel, 1977. 216f. Tese de Livre Docência, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1977.

BAPTISTA DA SILVA, J.; FERNADES, A. M. Análise harmônica das temperaturas mínimas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, V.6, n.1, p.455-470, 1991.

BAPTISTA DA SILVA, J.; CUNHA, F. B.; SCHONS, R. L. Chuvas em Fortaleza, CE: resultados de um primeiro estudo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.113-118, 1999.

BAPTISTA DA SILVA, J. et al. Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, V.9, n.2, p.317-324, 2001.

BAPTISTA DA SILVA, J.; BURGUEÑO, L. E. T.; FERREIRA, C. C.; PEREIRA, R. S. Umidade relativa em Pelotas, RS. I – Análise Estatística. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.129-134, 2002.

BLISS, C. I. Periodic Regression in biology and climatology. **Connecticut Agricultural Experiment Station**, New Haven, n.615, 1958. 55p.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time series analysis: forecasting and control**. 3.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994. 598p.

BREAZEALE, E. L.; McGEORGE, W. T. Influence of atmospheric humidity on root growth. **Soil Science**, 76: 361- 366, 1953.

CARDOSO, D. S. **Análise harmônica dos totais de chuvas mensais de regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPel, 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463p.

CHENG, X.; WALLACE, J. M. Cluster Analysis of the Northern Hemisphere Wintertime 500 hPa Height Field: Spatial Patterns. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston, v.50, n.16, p.2674-2696, 1993.

CUNHA, O. P. **Controle de qualidade da massa de grãos**. Porto Alegre: Dryeration, 2000. 183p.

CURI, P. R. Análise de agrupamento: Métodos seqüenciais, aglomerativos e hierárquicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.35, n.10, p.1678-1685, 1983.

CURI, P. R. Análise de agrupamento complementada com ordenação pelos componentes principais e análise de variância multivariada. Um exemplo biológico. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.37, n.6, p.879-888, 1985.

DINIZ, G. B. **Preditores visando à obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 167f. Tese (Doutorado em Fitotecnia – Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DINIZ, G. B. **Meteorologia Física**. Pelotas: Editora Universitária UFPEL, 2006. 156p.

DIXON, W. J.; MASSEY Jr., F. J. **Introduction to statistical analysis**. Tokio: MacGraw-Hill Kogakusha Ltda., 1969. 639p.

DORLING, S. R. et al. Cluster Analysis: A Technique for Estimating the Synoptic Meteorological Controls on Air and Precipitation Chemistry – Method and Applications. **Atmospheric Environment**, New York, v.26, n.14, p.2575-2581, 1992.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. London: Heinemann Books, 1974. 135p.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Análise das precipitações mensais da bacia hidrográfica do rio Brígida no semi-árido pernambucano, usando o método de Ward. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.28, n.2 p.75-88, 2008.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 187p.

FORTANIER, E. J. Controlo f flowering in *Arachis hypogaea* L. **Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen**, 57: 1-116, 1957.

HUTH, R.; NEMESOVÁ, I. Estimation of missing daily temperatures: Can a weather categorization improve its accuracy? **Journal of Climate**, Boston, v.8, n.32, p.1901-1916, 1995.

JOÃO, M. M. **Análise do comportamento das temperaturas máximas e mínimas médias mensais para o Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPel, 2009. 137f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

LASSERAN, R. A. **Aeração de Grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1981. 131p.

MACHADO, C. C.; ABITANTE, A. L. R. **Umidade por condensação- um estudo de caso sobre manifestações patológicas geradas no interior das edificações na cidade de Pelotas**, 2008. 20f. Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MATZENAUER, R.; VIANA, D. R.; BUENO, A. C.; MALUF, J. R. T.; CARPENEDO, C. B. Regime Anual e Estacional de Chuvas no Rio Grande do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju-SE. **Anais do...**, Aracaju-SE, 2007.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

MARQUES, J. R.; DINIZ, G. B. Variabilidade temporal da temperatura do ar na América do Sul e seus efeitos na precipitação durante o verão no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracajú-SE. **Anais do...**, Aracaju-SE, 2007.

MEZZOMO, D. Análise espectral da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p.121-132. 2007.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Modelos para Previsão de Séries Temporais**. Rio de Janeiro: Instituto de Matemática Pura e Aplicada, v.1 e 2, 1981. 623p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. Edgar Blücher, São Paulo, SP, 2004.

MOTA, F.S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Livraria Nobel, 1975. 376p.

MÜLLER, P.B. **Bioclimatologia- Aplicada aos animais domésticos**. 3.ed. Porto Alegre: Editora Sulina, 1989. 262p.

NÍMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE – Departamento de Recursos Naturais e estudos Ambientais, 1989. 421p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.

POSSOLI, S. Técnicas de análise multivariada para avaliação das condições de saúde dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.18, p.288-299, 1984.

PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenagem de Grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 630p.

RIBEIRO, D. S. **Análise harmônica da radiação solar global mensal na região de Pelotas-RS**. Pelotas: UFPel, 2003. 79f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -

Curso de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2003.

ROSE, C. W. **Agricultural Physics**. Pergamon, London, 1966.

SANTOS, J. W. **Estudo das precipitações pluviais mensais no município de Bananeiras,PB, através de regressão periódica**. Piracicaba-SP, 1984. 65f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1984.

SAUER, D. B. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615p.

SILVA, A. G. et al. Análise de agrupamento aplicada ao regime pluviométrico da costa leste e norte do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão. **Anais do...** Rio de Janeiro: SBMet, 1996. P.231-235.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. do. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2 – Recife, 2006. 449p.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. San Diego – CA: Academic Press, 1995. 467p.

YU, T.; CHANG, L. F. W. Delineation of air-quality basins utilizing multivariate statistical methods in Taiwan. **Atmospheric Environment**, New York, v.35, n.18, p.3155-3166, 2001.