

Milena Machado João

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS TEMPERATURAS MÁXIMA E
MÍNIMA MÉDIAS MENSAS PARA O ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Meteorologia da UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz
Co- Orientador: Prof. Dr. João Baptista da Silva

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro de 2009

Dados de catalogação na fonte:

Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901

Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

J62a João, Milena Machado da Luz

Análise do comportamento das temperaturas máxima e mínima médias mensais para o estado do Rio Grande do Sul / Milena Machado da Luz João ; orientador Gilberto Barbosa Diniz ; João Baptista da Silva. – Pelotas, 2009. – 137f. : il. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2009.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz (Orientador)

Prof. Dr. Sílvio Steinmetz

Prof. Dr Julio Renato Quevedo Marques

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

Agradecimentos

Ao Carlos, meu marido, pelo incentivo e companheirismo.

À Vanessa e Pedro, meus filhos, pela compreensão.

Aos meus mestres, pelas valiosas lições que me ensinaram em especial ao Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz, pela oportunidade, orientação, sugestões e pelas sábias palavras que concretizaram este trabalho.

Ao Prof. Dr. João Baptista da Silva por todo o conhecimento compartilhado, pelas leituras críticas e pela amizade demonstrada durante as inúmeras vezes em que nos reunimos. Sua co-orientação foi fundamental, durante a realização deste trabalho.

A banca examinadora pela leitura atenta e pelas construtivas e valiosas sugestões oferecidas para o desenvolvimento e aprimoramento desta dissertação.

Aos queridos colegas, Aline, Mirlen, Guilherme, Gustavo e Dionis. O apoio, o carinho e a alegria de vocês me ajudam a focar sempre o que é mais importante.

Aos amigos e funcionários do CPPMet pela amizade e apoio prestado durante o curso de Mestrado.

A direção e colegas da coordenadoria de Física e Matemática do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas que me oportunizaram e incentivaram na realização deste curso.

A Deus

Eu pedi força.....e Deus me deu dificuldades para me fazer forte.

Eu pedi sabedoria.....e Deus me deu problemas para resolver.

Eu pedi prosperidade.....e Deus me deu cérebro e músculo para trabalhar.

Eu pedi coragem.....e Deus me deu perigo para superar.

Eu pedi favores.....e Deus me deu oportunidades.

Eu não recebi nada do que pedi.....Mas recebi tudo o que precisava.

Autor Desconhecido

Resumo

JOÃO, Milena Machado. **Análise do Comportamento das Temperaturas Máximas e Mínimas Médias Mensais para o Rio Grande do Sul**. 2009. 137p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Neste trabalho foi feito um estudo do comportamento das temperaturas mínimas e máximas médias mensais para o Estado do Rio Grande do Sul, entre 1918 e 2007. Foram utilizados dados coletados em 10 estações meteorológicas distribuídas por todo o Estado. Na primeira etapa, verificou-se a tendência dessas variáveis nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, ao longo dos 90 anos e a seguir em períodos de 30 anos. Depois disso, constituíram-se modelos matemáticos referentes às temperaturas mínimas e máximas médias mensais, para algumas estações meteorológicas estudadas. Para isso foi aplicada a técnica da análise harmônica para a identificação dos harmônicos existentes e sua importância na composição dos modelos para cada estação. Foram utilizados dados de 85 anos, de 1918 a 2002, para a análise harmônica e composição dos modelos; e 5 anos, de 2003 a 2007, para a estimativa dessas variáveis. Os resultados mostraram que as tendências positivas mais significativas, para o período total de 90 anos, ocorreram nas temperaturas mínimas, as quais aumentaram expressivamente no Norte do Estado, enquanto que as temperaturas máximas apresentaram tendências negativas, exceto no mês de agosto (inverno). A análise feita por períodos de 30 anos possibilitou a verificação de que não existe uma tendência linear constante, pois houve intervalos com mudança no sinal da tendência. Os valores estimados pelos modelos matemáticos, propostos pela técnica da análise harmônica, foram comparados com novos conjuntos de observações. As análises realizadas indicaram um bom desempenho dos modelos como prognóstico do comportamento das

médias das temperaturas mínimas e máximas, tendo-se em conta as características climáticas da região.

Palavras chaves: Tendências. Temperaturas Mínimas e Máximas. Análise Harmônica. Rio Grande do Sul.

Abstract

JOÃO, Milena Machado. **Variability Analysis of the Monthly Average Minimum and Maximum Temperature in Rio Grande do Sul**. 2009. 137p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A study has been done on the minimum and maximum temperature monthly averages in the State of Rio Grande do Sul, between 1918 and 2007. Data have been used collected in 10 meteorological stations spread all over the State territory. In a first stage, it has been verified a tendency of these variables in the months of February, May, August and November, throughout the 90 years, and then in periods of 30 years. Right after, mathematical models have been built to refer minimum and maximum temperature monthly averages, for some chosen meteorological stations. For that goal, harmonic analysis technique has been applied for the identification of existing harmonics and their importance in the composition of the models for each station. Data corresponding to an 85-year period, from 1918 to 2002, have been used for the harmonic analysis and composition of the models; and a 5-year period, from 2003 to 2007, for the estimates of theses variables. The results have shown that the more significant positive trends, for the total period of 90 years, have occurred in the minimum temperatures, which have increased remarkably in the State Northern region, while the maximum temperatures have presented negative trends, except in August (winter month). The analysis made for 30-year periods made possible to verify that a constant linear trend does not exist, once intervals have been noticed with a change in the signal of the trend. The estimated values by the mathematical models, proposed for the harmonic analysis technique, have been compared to new sets of observations. The analyses carried through have indicated a good performance of the models as a forecast for the minimum and maximum temperature

average variations, taking into account the climatic characteristics of the studied region.

Key words: Tendency. Minimum and Maximum Temperatures. Harmonic Analysis. Rio Grande do Sul.

Lista de Figuras

	Página
FIGURA 1 Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do RS utilizadas no trabalho.....	42
FIGURA 2 Representação gráfica dos parâmetros A_k , a_k , p_k e q_k	53
FIGURA 3 Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	62
FIGURA 4 Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 1947 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	64
FIGURA 5 Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal para o período de 1948 a 1977 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	65
FIGURA 6 Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal para o período de 1978 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	66
FIGURA 7 Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	71
FIGURA 8 Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 1947 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	72
FIGURA 9 Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal para o período de 1948 a 1977 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	73

FIGURA 10	Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal para o período de 1978 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio e (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.....	74
FIGURA 11	Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Iraí-RS.....	77
FIGURA 12	Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Santana do Livramento-RS.....	77
FIGURA 13	Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Pelotas-RS.....	78
FIGURA 14	Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 da estação de Iraí-RS.....	79
FIGURA 15	Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 da estação de Santana do Livramento-RS.....	79
FIGURA 16	Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2007 da estação de Pelotas-RS.....	80
FIGURA 17	Valores médios da temperatura mínima média mensal em Iraí-RS para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....	85
FIGURA 18	Valores médios da temperatura mínima média mensal em Santana do Livramento-RS para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....	86

FIGURA 19	Valores médios da temperatura mínima média mensal em Pelotas-RS para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....	87
FIGURA 20	Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais na estação de Iraí-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.....	89
FIGURA 21	Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais na estação de Santana do Livramento-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.....	90
FIGURA 22	Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais na estação de Pelotas-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.....	90
FIGURA 23	Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Iraí-RS.....	93
FIGURA 24	Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Santana do Livramento-RS.....	94
FIGURA 25	Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 2007 na estação de Pelotas-RS.....	94
FIGURA 26	Valores médios da temperatura máxima média mensal em Iraí-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....	99
FIGURA 27	Valores médios da temperatura máxima média mensal em Santana do Livramento-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....	100

FIGURA 28 Valores médios da temperatura máxima média mensal em Pelotas-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).....

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 Estações meteorológicas do Estado do RS, com as respectivas coordenadas geográficas e instituições à que pertencem.....	41
TABELA 2 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1918 e 2007, nas estações de estudo.....	58
TABELA 3 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1918 e 1947, nas estações de estudo.....	59
TABELA 4 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1948 e 1977, nas estações de estudo.....	60
TABELA 5 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1978 e 2007, nas estações de estudo.....	61
TABELA 6 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1918 e 2007, nas estações de estudo.....	67
TABELA 7 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1918 e 1947, nas estações de estudo.....	68
TABELA 8 Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1948 e 1977, nas estações de estudo.....	69

TABELA 9	Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados no período de 1978 e 2007, nas estações de estudo.....	69
TABELA 10	Valores de $W_{calc.}$ para o período de 12 meses referentes ao teste de Shapiro Wilk dos dados de temperatura mínima média mensal (1918 a 2007) na estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento e (c) Pelotas.....	76
TABELA 11	Médias mensais da temperatura mínima no período de 1918 a 2002, para a estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento e (c) Pelotas.....	81
TABELA 12	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Iraí-RS, período de 1918 a 2002.....	82
TABELA 13	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Santana do Livramento-RS, período de 1918 a 2002.....	82
TABELA 14	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Pelotas-RS, período de 1918 a 2002.....	82
TABELA 15	Valores médios mensais da temperatura mínima em Iraí-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e valores observados (5 anos) utilizados para a previsão.....	85
TABELA 16	Valores médios mensais da temperatura mínima em Santana do Livramento-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão. Dados transformados.....	86
TABELA 17	Valores médios mensais da temperatura mínima em Pelotas-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão.....	87
TABELA 18	Valores dos parâmetros RMSE (root mean square error) e MBE (mean bias error) e do teste t, para as localidades de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas.....	91

TABELA 19	Valores de $W_{calc.}$ para o período de 12 meses referentes ao teste de Shapiro Wilk dos dados de temperatura máxima média mensal (1918 a 2007) na estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento e (c) Pelotas.....	92
TABELA 20	Médias mensais da temperatura máxima no período de 1918 a 2002, para a estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento e (c) Pelotas.....	96
TABELA 21	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Iraí-RS, período de 1918 a 2002.....	96
TABELA 22	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Santana do Livramento-RS, período de 1918 a 2002.....	97
TABELA 23	Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Pelotas-RS, período de 1918 a 2002.....	97
TABELA 24	Valores médios mensais da temperatura máxima em Iraí-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e valores observados (5 anos) utilizados para a previsão.....	99
TABELA 25	Valores médios mensais da temperatura máxima em Santana do Livramento-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão. Dados transformados.....	100
TABELA 26	Valores médios mensais da temperatura máxima em Pelotas-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão.....	101
TABELA 27	Valores dos parâmetros RMSE (root mean square error) e MBE (mean bias error) e do teste t, para as localidades de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas.....	102

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Fundamentação Teórica.....	22
2.1.1 Séries Temporais.....	22
2.1.1.1 Considerações Gerais.....	22
2.1.1.2 Componentes de uma Série Temporal.....	23
2.1.1.3 Objetivos da Análise de Séries Temporais.....	26
2.1.2 Funções Periódicas.....	27
2.1.3 Análise Harmônica.....	28
2.1.3.1 Série de Fourier e Coeficientes de Fourier.....	29
2.1.3.2 Coeficientes discretos de Fourier.....	29
2.2 Caracterização Climática.....	30
2.3 Aplicações.....	36
2.3.1 Pesquisas realizadas sobre Tendências Climatológicas.....	36
2.3.2 Pesquisas realizadas com aplicação da Análise Harmônica.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1 Dados Meteorológicos.....	41
3.2 Métodos.....	42
3.2.1 Estudo de Tendências.....	42
3.2.1.1 Teste de Hipóteses e Nível de Significância.....	44
3.2.2 Análise Harmônica.....	47
3.2.2.1 Ajustamento dos Dados.....	47
3.2.2.2 Transformação de Dados.....	47
3.2.2.3 Teste de Homogeneidade de Variâncias e de Normalidade.....	48
3.2.2.3.1 Teste de Cochran para a Homogeneidade de Variâncias.....	48
3.2.2.3.2 Teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Francia) para Normalidade.....	49
3.2.2.4 Transformação baseada na relação entre a Média e a Variância da amostra.....	49
3.2.2.5 Estacionariedade.....	51
3.2.2.6 Fundamentação matemática da Análise Harmônica.....	51
3.2.2.7 Teste t.....	55

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Estudo da tendência	57
4.1.1 Estudo da Tendência da Temperatura Mínima Média Mensal.....	57
4.1.1.1 Análise dos mapas de isolinhas de tendências de temperatura mínima.....	61
4.1.2 Estudo da Tendência da Temperatura Máxima Média Mensal.....	66
4.1.2.1 Análise dos mapas de isolinhas de tendências de temperatura máxima.....	70
4.2 Análise Harmônica	75
4.2.1 Ajuste dos dados.....	75
4.2.2 Análise Harmônica das Temperaturas Mínimas Médias Mensais.....	75
4.2.2.1 Testes de Normalidade e Homogeneidade das Variâncias.....	75
4.2.2.2 Estacionariedade.....	76
4.2.2.3 Análise Harmônica.....	81
4.2.2.4 Modelos.....	83
4.2.2.5 Previsões dos Modelos, para os últimos cinco anos, incluídas as tendências	88
4.2.2.6 Teste t.....	91
4.2.3 Análise Harmônica das Temperaturas Máximas Médias Mensais.....	91
4.2.3.1 Testes de Normalidade e Homogeneidade das variâncias	91
4.2.3.2 Estacionariedade.....	93
4.2.3.3 Análise Harmônica.....	95
4.2.3.4 Modelos.....	97
4.2.3.5 Teste t.....	102
5 CONCLUSÕES.....	103
6 REFERÊNCIAS.....	105
7 APÊNDICES.....	108

1 INTRODUÇÃO

O Planeta Terra é dotado de dois movimentos principais, fortemente relacionados com o clima e suas variações. O movimento de translação e o de rotação. O primeiro é o movimento que a Terra efetua em torno do Sol, fonte de calor que regula todo o processo climático terrestre e o segundo é o movimento que executa sobre seu eixo imaginário que passa pelos pólos, e que produz o dia e a noite e, conseqüentemente, influencia os processos atmosféricos.

A inclinação do eixo terrestre, junto com a excentricidade da órbita e a esfericidade do planeta faz com que a quantidade de luz e calor provenientes do Sol não seja a mesma em toda a superfície da Terra. Estas diferenças de iluminação e, por conseguinte, de aquecimento da atmosfera e do solo, são as causas das diferentes estações do ano.

Nem todo calor que o Sol emite, atinge a superfície da Terra. Só nos alcança cerca da metade. O restante é absorvido pela atmosfera, ou também é absorvido e refletido pelas nuvens. A parcela de energia que atinge a superfície da Terra, aquece a crosta terrestre, faz a água evaporar, produz os ventos e as correntes marítimas. Toda essa energia que atinge a Terra tenderia a aquecê-la, ou seja, faria sua temperatura aumentar. No entanto, a Terra, por sua vez, irradia para o espaço uma quantidade de energia igual a que absorve. Ela permanece assim, em equilíbrio térmico, a uma temperatura que só varia de modo considerável em períodos muito longos (da ordem de eras geológicas).

O efeito estufa, propriedade que determinados gases têm de bloquear a saída da radiação infravermelha para o espaço, é essencial para a manutenção desse equilíbrio. Sem o dióxido de carbono (já presente na atmosfera bem antes do

advento do homem), a temperatura da Terra seria de aproximadamente -20°C (AMALDI, 1995), e não existiria vida.

Entretanto, segundo Amaldi (1995), um aumento de 10% na concentração desse gás faria a temperatura média do planeta subir cerca de 3°C , com graves consequências sobre o nível do mar e sobre a agricultura em muitas regiões da Terra.

Clima e condições climáticas (tempo) não podem ser confundidos. Clima trata de frequência e padrões do tempo ao longo de anos, décadas, séculos, eras. O estado atmosférico (tempo) é medido em eventos que ocorrem ao longo de alguns dias. Os eventos de um dado tempo, em certos dias, não podem ser ligados à mudança climática. Assim, alguns dias de muito calor durante o verão não são indicativos de uma mudança climática. Para se estabelecer a ocorrência de uma mudança climática, é necessário recorrer a períodos muito longos (da ordem de eras geológicas).

Vem sendo divulgado, há algum tempo, que a temperatura do planeta Terra está aumentando, consequência, segundo a maioria, do efeito estufa principalmente.

Segundo Marengo (2006), a década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras medições, no fim do século XIX, foram efetuadas. Até finais do século XX, o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas em 1861, com $0,54^{\circ}\text{C}$ acima da média histórica de 1961–90. Já no século XXI, a temperatura do ar em nível global no ano de 2005 foi de $0,48^{\circ}\text{C}$ acima da média, sendo este o segundo ano mais quente do período observacional. O ano de 2003 foi o terceiro mais quente ($0,44^{\circ}\text{C}$ acima do normal), como afirma a Climate Research Unit da University of East Anglia, UK (MARENGO, 2006).

Mezzomo (2004), verificou a partir da análise da temperatura mínima média mensal, numa região homogênea do estado do Rio Grande do Sul, que contém a estação meteorológica de Pelotas, uma tendência linearmente crescente, nesta variável. Os coeficientes angulares em cada equação de regressão linear mostraram que em 100 anos, a temperatura mínima média trimestral apresentou um aumento de $1,2^{\circ}\text{C}$ a $2,8^{\circ}\text{C}$, conforme o trimestre considerado.

É muito importante quantificar e explicar como e por que o clima da Terra está gradualmente tornando-se mais quente, o que vêm fazendo para acelerar a

mudança, que conseqüências provavelmente terão sobre todas as coisas vivas e o que se pode fazer sobre este fato. Sabe-se que os efeitos da mudança global sobre determinadas regiões incluem modificações na duração do ano agrícola, perda de diversidade genética, alterações na precipitação pluvial, além de outros.

A terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases que formaram, de tempos em tempos, uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural. Ocorre que, atualmente, a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural, o que sugere que a atividade humana é um fator determinante no aquecimento (MARENGO, 2006).

Sabe-se também que essas oscilações climáticas têm um período de ocorrência cujos estudos devem estabelecê-las de forma a melhor interpretar seus resultados e formular melhores conclusões.

Os estudos do clima do Rio Grande do Sul iniciaram com o pioneirismo de Coussirat de Araújo, em 1930, citado por Moreno (1961), classificando o Estado como clima temperado e apresentando uma divisão do Rio Grande do Sul em oito regiões climáticas. Nessa divisão foram considerados os fatores que maior influência exercem sobre o clima no Estado, como altitude, continentalidade e proximidade ao oceano. As regiões determinadas por Coussirat de Araújo, em 1930, receberam as denominações de Campanha, Vale do Uruguai, Serra do Sudeste, Depressão Central, Missões, Planalto, Serra do Nordeste e Litoral. Essas denominações representam a morfologia e o clima do Estado e são empregadas até o presente, entretanto, apresentam o inconveniente de uma divisão esquemática, o que dificulta sua utilização em trabalhos de agroclimatologia e principalmente, de planejamento agrícola regional e estadual.

O Estado do Rio Grande do Sul, por suas características geográficas e climatológicas em função não só da latitude e da longitude, mas também pela entrada dos sistemas meteorológicos, como frentes e massas de ar, carece de estudos mais apropriados sobre determinadas variáveis meteorológicas que são importantes não só para a produção agrícola, mas também para a qualidade da vida humana. A temperatura máxima e mínima média mensal é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para a compreensão dos fenômenos atmosféricos

e que evidencia maior relação com as trocas que estão a acontecer no clima em nível global.

Este trabalho tem como objetivo principal estudar as características climatológicas das temperaturas máxima e mínima médias mensais, ao longo de uma série contínua de anos, bem como, analisar o comportamento dessas mesmas variáveis pela análise harmônica em algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.

E tem os seguintes objetivos específicos:

- Verificar a tendência ao longo de uma série contínua de anos e, em períodos separados, dentro dessa mesma série das temperaturas máximas e mínimas médias mensais, a partir do mês central de cada estação do ano, em algumas localidades do RS.
- Estabelecer, através da análise harmônica, modelos que possam representar o comportamento das variáveis em estudo.
- Verificar se os modelos estabelecidos permitem estimar adequadamente valores futuros destas variáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentação Teórica

2.1.1 Séries Temporais

2.1.1.1 Considerações Gerais

Define-se série temporal como um conjunto de observações de uma variável dispostas sequencialmente no tempo. Conforme o conjunto gerado, pode-se classificar a série em contínua ou discreta. Em geral, as medições dão origem a dados contínuos, enquanto que as enumerações ou contagens resultam em dados discretos.

Segundo Morettin e Toloi (2004), quando essas observações são feitas de uma forma contínua, como por exemplo, medidas de temperaturas a partir de um termógrafo, temos uma série temporal contínua, quando porém essas observações são tomadas em intervalos de tempo específicos, usualmente igualmente espaçados, como por exemplo, temperatura média mensal, temos uma série temporal discreta.

Para analisar uma série temporal contínua é necessário amostrá-la em intervalos de tempo igualmente espaçados, o que a transforma em uma série discreta, processo denominado de discretização.

Por outro lado, uma série temporal pode ser classificada como determinística ou estocástica. Diz-se que é determinística quando os futuros valores da série podem ser estabelecidos precisamente por alguma relação funcional matemática do tipo $Y = f(\text{tempo})$. Será dita estocástica quando seus futuros valores só puderem ser expostos em termos probabilísticos, uma vez que a série está descrita por meio de uma relação funcional que envolve não só o tempo, mas também uma variável

aleatória do tipo $Y = f(\text{tempo}, a)$, onde 'a' é o termo aleatório residual, cuja inclusão se torna necessária, quando não se consegue explicar completamente algum movimento irregular da série através unicamente da relação matemática.

2.1.1.2-Componentes de uma Série Temporal

Geralmente, costuma-se classificar os movimentos da série de tempo em três tipos básicos de variações: a tendência (T_t), as variações sazonais (S_t) e as variações aleatórias (a_t), e tem-se como objetivo especificar a magnitude de cada um desses movimentos para possibilitar descrever conjuntamente o movimento da série. Assim, uma série temporal Z_t , $t = 1, 2, \dots, N$ pode ser considerada, geralmente, como uma soma dessas três componentes, descrita pela equação:

$$Z_t = T_t + S_t + a_t \quad (1)$$

Essas componentes podem ser entendidas como:

a) Tendência

A tendência, é caracterizada como aquele movimento regular e contínuo de longo prazo, refletindo um movimento ascendente ou descendente em longo período de tempo.

Yevjevich (citado por Back, 2001) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas.

Segundo Morettin e Toloi (2004), a identificação da tendência, numa série, se faz importante por dois motivos: 1^o) para eliminá-la, pois muitos procedimentos de análise estatística de séries temporais pressupõem a estacionaridade dos dados para sua aplicação, 2^o) para a escolha adequada do modelo de previsão a ser adotado. Existem modelos apropriados para séries que apresentam tendências.

Como a maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais supõe que estas sejam estacionárias, ou seja, ela se desenvolve no

tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, será necessário transformar os dados originais, se estes não formam uma série estacionária.

A seguir são apresentados alguns procedimentos para a estimativa e a eliminação da tendência.

Um procedimento muito utilizado para estimar tendência (T_t) é ajustar uma função do tempo aos valores observados da série. Tradicionalmente são utilizados vários tipos de funções, como um polinômio, uma função exponencial, uma função logarítmica ou outra função suave de t . O caso mais geral é o de se ajustar um polinômio de grau m , da forma (MORETTIN E TOLOI, 2004):

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 + \dots \beta_m t^m \quad (2)$$

Onde $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_m$ são os parâmetros cujas estimativas podem ser obtidas pelo método dos mínimos quadrados. Quando $m=1$, ter-se-á um polinômio de primeiro grau, ou seja, tornar-se-á um caso simples de regressão linear, de modo que a equação (2) ficará

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t \quad (3)$$

Uma vez estimada a tendência podemos obter a série ajustada para tendência ou livre de tendência,

$$Y_t = Z_t - T_t \quad (4)$$

Outro procedimento também utilizado para eliminar a tendência de uma série é aquele de tomar diferenças sucessivas entre os elementos da série original até se obter uma série estacionária. Geralmente uma ou duas diferenças são suficientes para atingir esse objetivo. A primeira diferença da série Z_t é definida como

$$\Delta Z_t = Z_t - Z_{(t-1)} \quad (5)$$

b) Sazonalidade.

A componente sazonal aparece quando há dados coletados intra-anuais, registrados, por exemplo, diariamente, semanalmente ou mensalmente, onde estão embutidas as variações decorrente das estações do ano.

Existem vários procedimentos para se estimar S_t , sendo que os mais usuais são:

1) Os métodos de regressão, que são ótimos para séries que apresentam sazonalidade determinística, ou seja, que pode ser prevista perfeitamente a partir de meses anteriores.

2) O método de médias móveis, que é apropriado quando temos uma série temporal cuja componente sazonal varia com o tempo, ou seja, para séries cuja sazonalidade é estocástica. Para melhores detalhes, consulte Morettin e Tolo (2004).

Quando uma série apresenta um único dado por ano, não aparece a sazonalidade, e o modelo (1) reduz-se a

$$Z_t = T_t + a_t \quad (6)$$

Estimando-se T_t e S_t e subtraindo de Z_t obteremos uma estimativa da componente aleatória a_t .

c) Aleatoriedade

A componente aleatória também chamada residual, refere-se não só aqueles movimentos esporádicos ocasionados por eventos aleatórios imprevisíveis, mas também ao conjunto de todos aqueles movimentos da série que não foram passíveis de identificação em seus demais componentes, uma vez que não obedecem a nenhuma lei comportamental capaz de ser descrita de forma determinística, através de relações funcionais exclusivamente matemáticas.

O modelo proposto conforme a equação (1) é um modelo aditivo e somente pode ser assim considerado quando a sazonalidade é independente da tendência. Quando isso não ocorre, há outros modelos mais adequados para o caso, como o modelo multiplicativo.

2.1.1.3 Objetivos da Análise de Séries Temporais

Entre os objetivos da análise de séries temporais, destaca-se a simples descrição do comportamento da série, a investigação do mecanismo gerador, identificação de periodicidades embutidas nos dados e a projeção (previsão) de valores futuros.

Portanto, a análise de um modelo de série de tempo significa um estudo que busca obter as características comportamentais sistemáticas da série, capazes de propiciar a construção de um modelo que descreva os movimentos passados de uma variável, com o que se poderá predizer os futuros movimentos da mesma. Basicamente, a análise de série temporal pressupõe que exista um processo estocástico gerador da série, ou seja, que, a cada possível realização aleatória da variável, esteja associada uma probabilidade de ocorrência da observação. Assim, o que se busca é descrever os mecanismos do processo e as características de sua aleatoriedade, porquanto isso irá fornecer os meios para que se chegue a conclusões sobre as probabilidades associadas aos valores futuros alternativos da série.

Um primeiro passo na análise de uma série temporal é a construção de seu gráfico, que revelará características importantes, como tendência, sazonalidade, variabilidade, observações atípicas, etc.

A análise de séries temporais fundamenta-se no fato de que as observações apresentam alguma dependência entre elas, isto é, possuem algum padrão não aleatório. A identificação desse comportamento não aleatório é fundamental para a criação de modelos que possam descrever o comportamento dos dados e ser utilizado para predição quanto ao futuro (STIVERSON, 1981 citado por FERRAZ, 1999).

É importante salientar que a previsão não constitui um fim em si, mas apenas um meio de fornecer informações para uma conseqüente tomada de decisões, visando a determinados objetivos.

2.1.2- Funções Periódicas

Uma função $Y=Y(t)$, onde a variável independente t não representa, obrigatoriamente, o tempo, é dita periódica de período T se:

$$Y(t \pm T) \equiv Y(t) \quad (7)$$

Isto é, se $Y(t \pm T)$ é idêntico a $Y(t)$ ou, o que é o mesmo, se $Y(t \pm T) = Y(t)$, qualquer que seja o valor de t .

As funções trigonométricas são as mais utilizadas para descrever fenômenos periódicos por causa exatamente da sua periodicidade. A função

$$Y_t = a \sin(wt + A) \quad (8)$$

é periódica de período $T = 2\pi/w$ radianos ou $360/w$ graus. Quando t varia entre $-\infty$ e $+\infty$ $\sin(wt + A)$ assume todos os valores do intervalo -1 a $+1$ e Y_t assume todos os valores compreendidos entre $-a$ e $+a$.

A constante **a**, denominada de amplitude de onda, representa a metade da oscilação da função, ou seja, a metade da diferença entre os seus extremos superior e inferior.

A é um ângulo denominado de ângulo de fase ou simplesmente fase. Os três parâmetros, amplitude, período e ângulo fase, identificam completamente uma forma de onda.

Uma maneira eficaz de se estudar dados com comportamento periódico é a aplicação da técnica da análise harmônica, técnica que decompõe a série de dados em componentes independentes chamadas harmônicos, que no modelo resultante, são representadas por funções senoidais.

2.1.3 Análise Harmônica

A Análise Harmônica ou Análise de Fourier é uma conveniente técnica para o estudo de fenômenos periódicos ou quase periódicos. Ela permite descrever, no domínio da frequência, uma série de dados ordenados no tempo.

Um fenômeno é dito periódico quando se repete exatamente a intervalos regulares de tempo ou de espaço e, é dito quase periódico, conforme Brooks e Carruthers (1955, apud Baptista da Silva, 1977), quando o valor do elemento estudado não se reproduz exatamente em certos intervalos de tempo, como se a um processo estritamente periódico, se superpusessem influências modificadoras de caráter aleatório.

A ocorrência de dias e noites, das estações do ano, das fases fenológicas das plantas são exemplos simples de fenômenos periódicos ou quase periódicos. Os dados climatológicos, temperatura média, por exemplo, são bem correlacionados com as estações do ano, bem como com a alternância dia/noite. São, portanto considerados como periódicos.

Para Morettin e Toloi, 2004, ao examinar séries temporais, resultantes da observação de processos estocásticos, o objetivo básico da análise harmônica é o de aproximar uma função do tempo por combinações de harmônicos nos quais a série pode ser decomposta.

Denomina-se portanto, Análise Harmônica ou Análise de Fourier de uma série finita de dados, a sua decomposição em uma série finita de somas de senos e co-senos. A primeira harmônica, ou harmônica fundamental, tem um período T , igual ao comprimento da série; a segunda harmônica tem um período igual a metade do período da harmônica fundamental; a terceira $T/3$ e assim por diante.

Deve ser considerado que o comportamento de um evento climatológico ao longo do tempo pode resultar da ação de três componentes: a tendência, vários componentes periódicos ou cíclicos e a aleatoriedade. Se existe tendência, o coeficiente angular da reta ajustada aos dados é significativo. Neste caso, a tendência deve ser eliminada antes de se proceder a análise harmônica. A parte restante da série de eventos consistirá então das componentes periódicas e casuais. O principal objetivo da análise harmônica será então isolar as componentes periódicas dominantes que expliquem o comportamento do evento analisado.

2.1.3.1. Série de Fourier e Coeficientes de Fourier

O teorema de Fourier assegura que uma função periódica $f(t)$, de período $T = \frac{2\pi}{w}$, pode ser expressa como uma soma (ALONSO E FINN, 1972)

$$Y = f(t) = p_0 + p_1 \cos(wt) + p_2 \cos(2wt) + \dots + p_k \cos(kwt) + q_1 \sin(wt) + q_2 \sin(2wt) + \dots + q_k \sin(kwt) \quad (9)$$

Essa soma é conhecida como **Série de Fourier**. A frequência w é chamada de fundamental e as frequências $2w$, $3w$... kw , de harmônicas. Os coeficientes p_k e q_k são os **coeficientes de Fourier**. Pode-se demonstrar (ver Thomas, 1962) que estes são obtidos através das expressões

$$p_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (10)$$

$$p_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos kwt dt \quad (11)$$

$$q_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin kwt dt \quad (12)$$

Observa-se que p_0 é o valor médio da $f(t)$ no intervalo $[0, T]$

2.1.3.2 Coeficientes Discretos de Fourier

Geralmente não se dispõe de uma expressão funcional de $f(t)$ e, além disso, não se conhecem seus valores em todos os pontos do intervalo $0 \leq t \leq T$ e, sim, para um conjunto discreto de pontos igualmente espaçados $t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$. Desta forma, não é possível resolver as integrais dadas nas equações (11) e (12) que definem os

coeficientes de Fourier. Na prática, os coeficientes de Fourier, são determinados aproximando a integral por sua soma de Riemann. Assim, para uma série de N valores ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_t$) igualmente espaçados a intervalos Δt no período $T = N\Delta t$, quando T (período básico) resultar um número ímpar, são válidos os valores dos coeficientes dados pelas seguintes expressões:

$$p_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} Y_t \cos(kwt) \quad (13)$$

$$q_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} Y_t \sin(kwt) \quad (14)$$

Sendo a ordem da componente senoidal, $k = 1, 2, 3, \dots, [(T-1)/2]$

Quando T resultar um número par, as equações (13) e (14) são válidas com k variando, $k = 1, 2, 3, \dots, [(T/2)-1]$ e os coeficientes referentes a última componente senoidal, ou seja, as componentes $p_{(T/2)}$ e $q_{(T/2)}$ serão dados por

$$p_{T/2} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} Y_t \cos(kwt) \quad (15)$$

$$q_{(T/2)} = 0 \quad (16)$$

2.2 Caracterização Climática

A preocupação do homem com os fenômenos originados na atmosfera e que repercutem na superfície terrestre é tão antiga quanto a sua própria percepção do ambiente habitado. Desde os primórdios da epopéia humana na Terra, o interesse pelo tempo e pelo clima se justifica pela indubitável influência que seus fenômenos e

os aspectos inerentes a eles, exercem nas atividades realizadas pelo homem. (SANT'ANNA NETO, citado por ICHIBA, 2006).

O clima, por ser um dos mais importantes componentes do ambiente natural, pode configurar como indicador de degradação ambiental, uma vez que ele afeta os processos geomorfológicos atuais, os da transformação dos solos, o crescimento e o desenvolvimento da vegetação e conseqüentemente, os processos hidrológicos.

Desde a década de 1980, são expressivas as evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima mundial e isso vem despertando um grande interesse no público e na comunidade científica em geral (MARENGO, 2001).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC, 2001) define mudança climática (climate change) como sendo as mudanças temporais do clima devido à variabilidade natural e/ ou resultados de atividades humanas. Outros autores adotam, para o mesmo termo, a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente às atividades humanas que alterem a variabilidade natural observada num determinado período.

De uma forma geral, “variabilidade climática” é utilizado para as variações de clima em função dos condicionantes naturais do planeta e suas interações, resultando assim a denominação de variabilidade natural do clima. Mudanças climáticas seriam as alterações na variabilidade natural do clima devido as atividades humanas. Dessa forma, é necessário identificar se está ocorrendo alteração na variabilidade natural para se poder afirmar que está havendo mudança climática.

Goossens & Berger (citados por BACK, 2001) apresentam as definições de alguns termos usados para caracterizar modificações climáticas. Segundo esses autores, mudança climática é um termo completamente geral que engloba todas as formas de inconstâncias climáticas de natureza estatística ou de causas físicas. Flutuação climática é qualquer forma de mudança sistemática regular ou irregular, exceto a tendência e mudança abrupta. Oscilação climática é a flutuação na qual a variável tende a mover-se gradualmente e de forma suave entre sucessivos máximos e mínimos. A tendência climática é uma mudança climática caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios no período de registro.

A mudança climática abrupta é uma mudança abrupta e permanente, durante o período de registro, de um valor médio para outro.

As várias definições encontradas para distinguir as diversas categorias de variação do clima, refletem as dificuldades existentes em separar os efeitos das atividades humanas no clima e a sua variabilidade natural, sobretudo, porque o sistema climático é extremamente complexo, sua dinâmica ainda não é completamente compreendida, por mais que se tenha avançado no conhecimento sobre o sistema Terra- Atmosfera.

Para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a evolução do comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para outro ou mesmo de uma década para outra, podendo-se verificar flutuações a curto, médio e longo prazos (STEINKE,2004).

Utilizando-se da prerrogativa de que o aumento na quantidade de CO₂ produz uma elevação da temperatura da baixa atmosfera num modelo de escala logarítmica, vários eventos foram organizados no sentido de discutir a problemática da mudança climática global e assim foi implantado, em 1988, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, a fim de : 1^o) avaliar as informações científicas existentes sobre a mudança do clima, 2^o) avaliar os impactos ambientais e socioeconômicos da mudança do clima e 3^o) formular estratégias de respostas a esses impactos (STEINKE,2004).

De acordo com Steinke (2004), o Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC foi finalizado em agosto de 1990 e serviu de base para a negociação da convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Em 1995, o Painel elaborou o Segundo Relatório de Avaliação. Nesse documento, foram discutidos o sistema climático físico, fatores que induzem a mudança do clima, análises do clima no passado, além de sugerir que o balanço das evidências indica uma nítida influência do homem sobre o clima através das emissões de gases de efeito estufa. O Terceiro Relatório de Avaliação, foi anunciado oficialmente em 21 de janeiro de 2001, o IPCC afirmou que “há novas e mais fortes evidências de que a maior causa do aquecimento global observado nos últimos 50 anos é atribuível as atividades humanas”.

Usando dados disponíveis até 1990, bem como da tendência de emissões dos gases de efeito estufa (dióxido de carbono, vapor d'água, nitrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio entre outros) nos níveis atuais, e sem a aplicação de políticas específicas para a redução de emissões, a projeção do IPCC é de que a temperatura média na superfície terrestre seja entre 1°C e 3,5°C maior no decorrer dos próximos 100 anos (IPCC, 2001).

O quarto relatório do IPCC, liberado em fevereiro de 2007, afirma, com 90% de confiança, que o aquecimento global dos últimos 50 anos é causado pelas atividades humanas. O relatório destaca também que é inequívoco que o Planeta vem aquecendo, 0,74 °C em 100 anos, e que já são discerníveis, uma série de mudanças climáticas como aumento das temperaturas do ar e dos oceanos, degelo de neve e gelo e aumento global do nível médio do mar em 17 cm durante o Século XX. Esse relatório, enfatiza que não é mais possível reverter totalmente o aquecimento global, pois os gases de efeito estufa presentes em excesso na atmosfera continuarão aquecendo a baixa atmosfera e a superfície terrestre, portanto a mudança climática deve continuar por décadas e talvez séculos, mesmo se as emissões de gases-estufa fossem cortadas. De acordo com o IPCC (2007), praticamente estão descartadas causas naturais para o aquecimento das últimas décadas, o qual se deve, em sua quase totalidade, a mudança da composição da atmosfera por ações humanas.

A ferramenta utilizada para a investigação dessas possíveis mudanças climáticas são os chamados Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Esses modelos descrevem a atmosfera de forma global, utilizando equações matemáticas para prescrever as leis físicas que regem a atmosfera. Segundo Abreu, (citado por Steinke, 2004), tais modelos são importantes para que se possa avaliar as implicações de uma mudança na composição química da atmosfera. Porém, Steinke chama a atenção para o fato de os modelos serem limitados pelo conhecimento científico sobre a dinâmica da atmosfera e aos recursos computacionais disponíveis.

Embora exista toda uma credibilidade envolvendo o IPCC, em função de nele estarem reunidos cientistas do mundo inteiro, representando diferentes áreas do conhecimento, e que utilizam os MCGAs para as previsões de mudanças climáticas devido ao aumento da concentração de CO₂, é cada vez maior o número

de cientistas que coloca em dúvida as afirmações de seus relatórios de avaliação. Esses cientistas afirmam que existe um grande número de incertezas, quando se trata de determinar em que proporção o aquecimento da Terra se deve a causas naturais ou às emissões de gases causadores do efeito estufa.

Steinke (2004) ressalta ainda, que as previsões de mudanças climáticas associadas às ações antropogênicas, não se referem exatamente ao efeito estufa que é uma propriedade natural da atmosfera, mas sim à intensificação deste efeito, quando, pelas atividades antrópicas, gases de efeito estufa são lançados na atmosfera, reforçando, assim, o bloqueio à saída da radiação infravermelha para o espaço. A questão é se o acréscimo destes gases na atmosfera, pela ação do homem, promoveria o aquecimento do planeta.

Para Alves, (citado por STEINKE, 2004), o acréscimo desses gases na atmosfera pela ação do homem não provocaria o aquecimento do Planeta. Alves explica que a adição de CO₂ na atmosfera, pela ação humana, corresponde apenas a um mecanismo “forçante”(forcing) do aquecimento do Planeta, o que não significa que o aquecimento terá de ocorrer. O homem não só queima biomassa e combustíveis fósseis como também altera a superfície do Planeta através, por exemplo, das atividades de urbanização. Tais atividades contribuem para um aumento da refletância (albedo) do Planeta, o que reduz a entrada de energia solar no sistema Terra-Atmosfera, estabelecendo assim, um mecanismo climático “forçante” ao resfriamento. Se esses dois mecanismos forçantes tiverem a mesma intensidade, sendo de sentidos opostos, a temperatura do Planeta não se alteraria. Se as intensidades forem diferentes, poderia haver aquecimento ou resfriamento, se todas as demais condições se mantivessem constantes. Portanto, a adição de CO₂ na atmosfera pelo homem não implica, necessariamente, o aquecimento do Planeta.

Outros autores acreditam que a temperatura no planeta está passando por mudanças cíclicas e naturais, ora há aquecimento ora há resfriamento. De acordo com Molion (2001), entre 1920 e 1945, a temperatura média global do ar próximo à superfície aumentou 0,37 °C, entre 1945 e 1978 diminuiu 0,14 °C e entre 1978 e 1999 voltou a aumentar 0,32 °C. O primeiro período de aquecimento (1920 – 1945) coincide com o período em que a atividade vulcânica foi a mais fraca dos últimos 400 anos. Neste período, o albedo planetário diminuiu e a Terra se aqueceu cerca de 0,4 °C naturalmente.

O segundo período de aquecimento (1978-1999), de acordo com Molion (2001), tem causado maior polêmica, pois não foi verificado em todas as partes do mundo, sendo possível até que não tenha sido real, mas sim, resultados de outras influências tais como, mudanças de instrumentos de observação ou falta de manutenção dos mesmos, mudanças no ambiente circundante à estação meteorológica ou mesmo sua relocação.

Para identificar se está ocorrendo mudança climática em uma região, é necessário conhecer um pouco de sua variabilidade climática.

De acordo com Andrade (1972), o estado do Rio Grande do Sul apresenta grande amplitude térmica anual caracterizada por verões quentes e invernos frios, sendo influenciado fortemente por sistemas atmosféricos de latitudes médias e elevadas. O regime de temperatura deste Estado é influenciado pelas massas de ar Marítima Tropical (mT), Marítima Polar (mP) e continental Tropical (cT). A massa de ar continental Tropical atua principalmente no oeste do Estado, elevando as temperaturas durante o período sazonal de verão. Já durante o inverno, o avanço das massas de ar de origem polar (marítima Polar), provoca expressiva redução nas temperaturas.

Segundo Nimer (1989) a caracterização e a compreensão climática de uma região não depende apenas da circulação atmosférica reinante sobre ela, mas sim, da interação desta com os 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 de acordo com Nimer (1989), pode-se classificar em físicos e dinâmicos os principais elementos constituintes do clima de uma região. Os físicos ou geográficos são a posição e o relevo. Os fatores dinâmicos, tem 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.

O relevo tem um efeito atenuador sobre a temperatura, principalmente porque a temperatura do ar normalmente diminui com a altitude crescente a uma taxa de 0,6 °C por 100 metros. Em área de topografia e inclinação variadas, o

aspecto e o grau de exposição das localidades em relação ao sol são fatores importantes que influenciam a temperatura (OMETTO, citado por ICHIBA, 2006).

2.3- Aplicações

Tanto o estudo de tendências como a aplicação da técnica da Análise Harmônica são metodologias científicas com larga aplicação em pesquisas nos mais diversos ramos do conhecimento.

2.3.1-Pesquisas realizadas sobre Tendências Climatológicas.

Back (2001), utilizou a análise estatística para identificar tendências climatológicas. Foram utilizados dados de precipitação (totais anuais e totais por trimestre do ano) e temperatura (média anual e média dos meses de janeiro e julho) da estação meteorológica de Urussanga-SC, relativos ao período de 1924 a 1998. Foi aplicada a análise de regressão e os testes paramétricos de Run, Mann-Kendall e Pettitt. Verificou-se que a análise de regressão, o teste de Pettitt e o teste de Mann-Kendall apresentam concordâncias entre seus resultados podendo ser utilizados na identificação de tendências de séries temporais. Os resultados indicaram que houve tendência significativa no aumento da temperatura média anual e na temperatura média do mês de janeiro, sendo que a mudança ocorreu no ano de 1965. Não foi identificada nenhuma tendência significativa na temperatura média do mês de julho. Verificou-se também que a precipitação pluvial total anual apresentou tendência crescente dentro do período estudado; porém quando analisada por trimestre, somente a precipitação pluvial no quarto trimestre apresentou tendência crescente.

Com o objetivo de avaliar a evolução da temperatura mínima do ar, na região de Pelotas (RS), e estabelecer sua provável relação com o aquecimento global e os possíveis impactos para a cultura do arroz irrigado, Steinmetz et al. (2005), analisaram dados médios anuais e dos meses de dezembro, janeiro fevereiro e março da temperatura mínima do ar no período de 1893 a 2004 (112 anos), e uma segunda análise foi feita para o período de 1951 a 2004 (54 anos) Concluíram que o aumento da temperatura mínima do ar de 1893 a 2004 foi de

1,01⁰C e que no período de 1951 a 2004, o aumento da média anual da temperatura mínima foi mais acentuado, correspondendo a 1,66⁰C.

Silveira e Gan (2006) verificaram a tendência climatológica da temperatura mínima do inverno (maio, junho julho, agosto e setembro) da Região Sul do Brasil, usando dados de reanálises do National Center for Environmental Predictions/ National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) relativo ao período 1950-2005. A temperatura mínima foi dividida em 5 parâmetros, para uma melhor análise do seu comportamento: temperatura mínima absoluta (Tmin_Abs), máxima da temperatura mínima (Tmin_Max), média da temperatura mínima (Tmin_Med), amplitude térmica (diferença entre a máxima e a mínima da temperatura mínima durante o período do inverno Tmin_Amp) e média da temperatura mínima do mês de julho (Tmin_Jul). Usando o teste de tendência de Mann-Kendall observou-se que o Rio Grande do Sul foi o único Estado a ter tendências climatológicas significativas nos parâmetros de máxima, média e amplitude térmica. A tendência positiva da Tmin_Max ocorreu em quase todo o RS. A área com tendências positivas da Tmin_Méd e da Tmin_Amp foi apenas na região sudeste do estado. Também foi analisado um ponto de grade, para se obter o local da mudança de tendência deste ponto, (Teste seqüencial de Mann-Kendall), o qual mostrou que as mudanças de tendências ocorreram no início da década de 50. No parâmetro Tmin_Max a tendência foi positiva e tornando-se significativa no início da década de 80 e no parâmetro Tmin_Amp a mudança de tendência positiva torna-se significativa somente em 1994.

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 RS, onde utilizando dados de temperaturas médias diárias contínuas de 1948 a 2006 (59 anos), e fazendo a análise da variabilidade temporal da temperatura, através do coeficiente de regressão linear, encontraram, para os últimos 59 anos, um predomínio de aumento na temperatura em praticamente todo o continente Sul-Americano e oceanos vizinhos, com exceção de uma pequena área sobre o Chile Central que aponta para resfriamento. Os valores positivos mais significativos são percebidos no Centro-Sul da Argentina e no Nordeste do Brasil. No entanto, a análise bi-decadal mostra que esta área de resfriamento é 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. A tendência de redução na precipitação é confirmada no bimestre janeiro-fevereiro, principalmente na metade oeste do RS, justificando a ausência de tendência de aumento de produtividade na cultura da soja nestes últimos 20 anos, situação inversa para o arroz irrigado.

2.3.2 – Pesquisas realizadas com a aplicação da Análise Harmônica

Bliss (1958) justificou o uso da análise harmônica a dados com tendências cíclicas, tanto no campo da Biologia como da Climatologia. Salientou, a necessidade de verificação da homogeneidade de variâncias e da normalidade dos dados previamente à análise harmônica. Informou também, que se os dados observados mudam simetricamente durante o ciclo, a curva da função seno representa bem o fenômeno. Entretanto, se a curva não é simétrica, poderão ser adicionados mais termos de frequências distintas à equação, até que o ajuste desejado seja encontrado.

Amaral (1968) utilizou a análise harmônica para estudo de dados mensais de precipitação em Pelotas-RS, de 1900 a 1951, e Morro Velho-MG, período de 1855 a 1951. O autor constatou que em Pelotas-RS, município sujeito à influência marítima e a frentes polares, a síntese das ondas é composta pelas ondas anual, semestral e quadrimestral. As duas últimas mostraram-se predominantes no curso anual das precipitações (máximos em fevereiro e setembro) e a onda anual representou apenas 15,25% da variação total entre os doze meses do ano. Diferentemente, em Morro Velho-MG, como é típico de um 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 efetuar uma transformação dos dados originais, através da equação $Z=x^{0,351}$, com o objetivo de homogeneizar as variâncias e normalizá-los, pois, ao utilizá-los diretamente na realização da análise harmônica, obteve estimativas de precipitação negativas. Salientou, também, que quando os dados não se distribuem normalmente, 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 para dados de precipitação da cidade de Pelotas-RS no período de 1900 a 1951. Porém, a técnica foi aplicada a dados na forma de pântadas, isto é, cada dado constitui-se do total de precipitação de cinco dias consecutivos. Assim, os dados diários da precipitação anual foram divididos em 73 pântadas. Em função da não normalidade e homogeneidade de variâncias dos dados originais, transformou-os usando a equação $Z = 100 \times x^{1/3}$ 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 cerca de 40,09% da variação total dos dados.

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

Queiroz et al. (2001) publicaram um trabalho de aplicação da análise harmônica a dados de precipitação (totais mensais) de oito cidades do estado do Paraná no período de 1960 a 1990. Nesse trabalho, os dados originais foram ajustados para meses de 30 dias e transformados para normalizar a distribuição. Para a identificação dos componentes harmônicos significativos, que foram escolhidos para fazer parte da equação de regressão correspondente a cada local, aplicaram o teste de estabilidade baseado na análise da variação, sugerido por Amaral (1968).

Ribeiro (2003) aplicou a técnica de análise harmônica a dados de radiação solar global mensal total da região de Pelotas-RS, para um período de 10 anos, afim de estabelecer um modelo para estimativa da radiação solar global mensal total para um ano médio. Neste modelo, foi incluída somente a onda anual (1 harmônica) por apresentar um percentual de representatividade da variação total dos dados de 98,74%. Utilizou, também, 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 níveis máximos no verão e mínimos no inverno, com valores intermediários na primavera e outono.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados meteorológicos

Foram utilizados, nesta pesquisa, dados de médias mensais de temperaturas máxima e mínima medidas em 10 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1918 a 2007, perfazendo um total de 90 anos de dados, correspondendo a três Normais Climatológicas não padrões. Esses dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (8^o Distrito de Meteorologia – Porto Alegre) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e junto à Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT) do Estado do Rio Grande do Sul.

A tab. 1 mostra as estações meteorológicas das quais os dados foram obtidos. Nela estão incluídos os dados de latitude, longitude e altitude de cada estação, bem como o período e a fonte fornecedora dos dados.

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

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Fonte
1-Bagé	31°21'	54°06'	215	1918 – 2007	8° DISME
2-Bento Gonçalves	29°15'	51°31'	619	1918 – 2007	8° DISME
3-Irai	27°11'	53°14'	222	1918 – 2007	8° DISME
4-Passo Fundo	28°15'	52°24'	676	1918 – 2007	8° DISME
5-Pelotas	31°52'	52°21'	13	1918 – 2007	Embrapa/UFPEL
6-Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	1918 – 2007	8° DISME
7-Santa Maria	29°42'	53°42'	95	1918 – 2007	8° DISME
8-Santa Vitória do Palmar	33°31'	53°21'	6	1918 – 2007	8° DISME
9-Santana do Livramento	30°53'	55°32'	210	1918 – 2007	8° DISME
10-São Borja	28°39'	56°00'	96	1918 – 2007	FEPAGRO

A Fig. 1 mostra a localização espacial das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho. Como pode ser visto, elas estão distribuídas de modo a cobrir todo o território do Rio Grande do Sul.

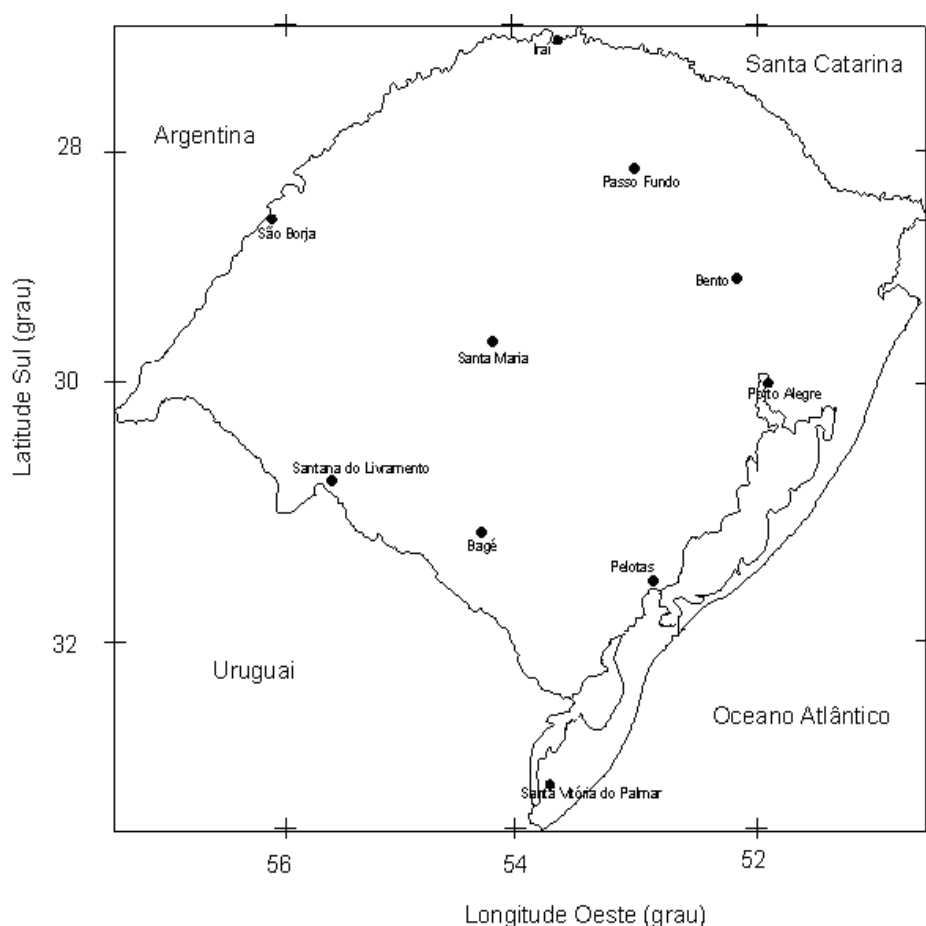


Figura 1. Distribuição espacial das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul utilizadas neste trabalho.

3.2. Métodos

3.2.1. Estudo de Tendências

Para o estudo de tendências das temperaturas máximas médias mensais e mínimas médias mensais, nas 10 estações meteorológicas do Estado do RS, no período de 1918 a 2007, foram selecionados o mês central do trimestre do verão, correspondentes aos meses de janeiro – fevereiro – março, do outono (abril – maio – junho), do inverno (julho – agosto – setembro) e da primavera (outubro – novembro – dezembro), assim o estudo de tendências foi feito para os meses de fevereiro, maio,

agosto e novembro. Neste trabalho, as análises de tendências foram divididas em dois grupos, a variação total, ou seja, ao longo dos 90 anos, de 1918 a 2007 e a variação em períodos de três décadas, ou seja, em períodos de 30 anos, de 1918 a 1947, de 1948 a 1977 e de 1978 a 2007.

Em posse dos dados, exibindo os valores correspondentes das variáveis, de cada estação meteorológica descritas anteriormente, traçou-se o gráfico dos pontos em um sistema de coordenadas retangulares, cujo conjunto é chamado de diagrama de dispersão.

O diagrama de dispersão nos permite observar que os dados podem ser aproximados por uma linha reta, expressando uma relação linear entre as variáveis. Assim foi usada a equação da reta, a qual foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados. A fundamentação estatística a seguir, apesar de ser semelhante na bibliografia disponível sobre o assunto, foi obtida de Hallal (2007)

$$\text{Equação da reta: } Y = a + bX \quad (17)$$

Onde:

Y é a variável dependente;

a é o intercepto da reta;

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

X é a variável independente, o número de anos de análise do estudo.

As estimativas dos coeficientes **a** e **b** foram obtidas pelo método dos mínimos quadrados, resolvendo-se o sistema

$$\sum Y = aN + b\sum X \quad (18)$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 \quad (19)$$

A variabilidade total do período analisado foi obtida pela expressão:

$$V_t = b.t \quad (20)$$

Onde **b** é o coeficiente de regressão e **t** representa o número de anos do período analisado.

Para se determinar a medida da dependência das variáveis **X** e **Y**, calculou-se o coeficiente de correlação pela equação:

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[(n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)]}} \quad (21)$$

O qual pode resultar positivo ou negativo. Se **r** é positivo Y tende a aumentar com X, enquanto que se **r** é negativo Y tende a decrescer quando X cresce.

A quantidade **r²**, chamado de coeficiente de determinação, representa a fração da variação total que é explicada pela reta de regressão de mínimos quadrados.

$$r^2 = \frac{\text{variação explicada}}{\text{variação total}} \quad (22)$$

Assim, se a variação explicada for nula, isto é, se a variação total for toda não explicada, esse quociente será igual a zero. Se a variação total for toda explicada o quociente será igual a 1. Nos outros casos, o quociente terá valor compreendido entre 0 e 1.

3.2.1.1 Teste de Hipóteses e Nível de Significância

Todo estudo estatístico baseia-se em hipóteses formuladas acerca das distribuições de probabilidade das variáveis aleatórias analisadas.

Em geral, formula-se uma hipótese estatística, H_0 , que é a hipótese mais simples, onde se admite que as variações ocorridas são apenas casuais e não reais. Essas hipóteses são denominadas nulas. Qualquer hipótese diferente de uma prefixada é denominada hipótese alternativa e é representada por H_1 .

Os processos que habilitam a decidir se aceitam ou rejeitam as hipóteses são denominados testes de hipóteses ou de significância. Para que tais testes sejam válidos, eles devem ser planejados de modo que os erros de decisão sejam reduzidos ao mínimo.

Ao testar uma hipótese estabelecida, a probabilidade máxima com a qual se sujeitaria a correr o risco de a hipótese ser rejeitada, quando deveria ser aceita, é denominada nível de significância do teste. Essa probabilidade, representada frequentemente por α , é geralmente especificada antes da extração de qualquer amostra, de modo que os resultados obtidos não sejam influenciados pela escolha. Na prática, adota-se um nível de significância de 0,05 ou 0,01.

Se escolhido o nível de significância de 0,05, (5%), há uma confiança de cerca de 95% de que se tome uma decisão acertada. Nesses casos, diz-se que a hipótese é rejeitada no nível de significância 0,05 o que significa que a probabilidade de erro seria de 0,05.

No presente trabalho, para verificar a existência de tendência, pela equação 17, formulou-se as seguintes hipóteses estatísticas:

(1) H_0 : $b=0$ não há tendência.

(2) H_1 : $b \neq 0$ há tendência.

O grau de significância do coeficiente de regressão **b** foi determinado através do teste “t” de Student e foi comparado com o valor crítico de **t** (teste bilateral), com $(n-2)$ graus de liberdade

Para um determinado coeficiente de regressão **b** ser significativo, isto é, rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , o valor do **t** calculado deve situar-se fora do intervalo de $\pm t$ crítico em um determinado nível.

Na análise da significância dos coeficientes de regressão de cada um dos meses analisados, foram considerados os níveis de 5% e de 1%. Esses níveis

indicam que a equação de regressão linear simples pode ser usada com probabilidade de confiabilidade de 95% e 99% respectivamente..

Como o valor crítico do nível de significância depende do número de dados utilizados na amostra, na série analisada de 90 anos (88 graus de liberdade, teste bilateral), os valores críticos de t são $\pm 1,99$ (5%) e $\pm 2,64$ (1%) e na série analisada de 30 anos (28 graus de liberdade, teste bilateral), o t crítico equivale a $\pm 2,05$ (5%) e $2,76$ (1%) (Dixon; Massey 1969).

A prova estatística foi feita, de acordo com Spiegel (1976), através da expressão:

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (23)$$

Sendo:

r = coeficiente de correlação;

n = número de dados da amostra.

Os valores dos coeficientes de regressão b , da variabilidade no período analisado V_t e do teste t foram listados em tabelas e analisados em função do nível de significância a 5% e a 1% nas dez estações meteorológicas estudadas.

Os resultados das variabilidades ocorrida nos períodos analisados, foram também representados em mapas (Figuras), onde foram traçadas isolinhas de tendências das temperaturas mínimas e máximas médias mensais, possibilitando assim uma melhor visualização da variabilidade espacial das mudanças observadas no Estado do RS.

Para a realização dos cálculos foi utilizado o software Excel, e na construção das isotermas de variabilidade das temperaturas mínima média mensal e máxima média mensal utilizou-se o software Surfer.

3.2.2. Análise Harmônica

Neste trabalho é feita a análise harmônica das temperaturas médias mensais mínimas e máximas, registradas no período de 1918 a 2002. O conjunto de dados de 2003 a 2007 das temperaturas mínimas médias mensais e das temperaturas máximas médias mensais, foram usados para testar os modelos matemáticos, sugeridos pelos estudos.

3.2.2.1 Ajustamento dos Dados

A análise harmônica foi aplicada às temperaturas médias mensais mínimas e máximas, para algumas estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Estas temperaturas médias mensais foram ajustadas, a um mês de trinta dias, em função de que a quantidade de dias em cada mês não é igual, procedimento indicado por Amaral (1968) e Bliss (1958). Quanto aos erros provocados pelos ajustes, Bliss (1958), através de exemplo com dados de temperatura, demonstrou que são desprezíveis para a maioria dos propósitos.

O ajustamento foi feito multiplicando as temperaturas médias mensais 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, todas as temperaturas mínimas médias mensais e máximas médias mensais a um mês de trinta dias.

3.2.2.2 Transformação de Dados.

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

Segundo Morettin e Toloí (2004) há, basicamente, duas razões para se transformar os dados originais: estabilizar a variância e tornar o efeito sazonal aditivo. Uma outra razão, segundo Morettin e Toloí, para efetuar transformações é obter uma distribuição para os dados mais simétrica e próxima da normal.

Portanto, previamente à utilização dos dados na aplicação da análise harmônica é feito um teste para verificar sua homogeneidade de variâncias e normalidade. O não atendimento desses requisitos pode fazer com que ao realizar-se a análise harmônica, obtenha-se resultados absurdos, como, por exemplo, aqueles obtidos por Amaral (1968) na aplicação da técnica a dados de precipitação mensal de Morro Velho – MG (precipitações negativas).

Caso os dados não sigam a distribuição normal e não apresentem variâncias homogêneas, será feita uma 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.

3.2.2.3 Testes de Homogeneidade de Variâncias e de Normalidade

3.2.2.3.1 Teste de Cochran para a Homogeneidade de Variâncias.

O teste de Cochran apud Dixon e Massey Jr. (1969) consiste em calcular todas as variâncias (σ^2) envolvidas no experimento e dividir a maior delas pela soma de todas. O valor resultante da divisão é então 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, número esse que evidentemente deve ser o mesmo para todas, pois a tabela é construída dessa forma.

$$C = \frac{\sigma_i^2 \text{maior}}{\sum \sigma_i^2} \quad (24)$$

Se o valor calculado de **C** for menor do que o valor crítico da tabela, no nível de significância escolhido, isto indica que as variâncias são homogêneas.

3.2.2.3.2 Teste de Shapiro-Wilk (Shapiro e Francia) para Normalidade.

O teste de Shapiro-Francia é uma extensão do teste de Shapiro-Wilk para normalidade. O teste de Shapiro-Wilk é apropriado para amostras de tamanho até 50 elementos. A extensão deste teste para amostras de tamanho até 98 foi desenvolvido por Shapiro e Francia(1972), citado por Shapiro (1990). A aplicação deste teste baseia-se inicialmente em ordenar em ordem crescente as N observações de cada mês (x_i) e, para cada mês, calcular:

$$S^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N} \quad (25)$$

$$b' = \sum_{i=1}^k b_{N-i+1} (x_{N-i+1} - x_i) \quad (26)$$

$$W' = \frac{b'^2}{S^2} \quad (27)$$

Onde b_{N-i+1} é obtido da tabela de constantes (Tabela A-8) Shapiro (1990), N é o número total de anos, $k=N/2$,se N é par, e $k= (N-1)/2$ se N é impar.

O teste W' é um teste unilateral à esquerda. Assim , a hipótese de nulidade H_0 (dados seguem a distribuição normal) é aceita quando o valor de “W” calculado for maior ou igual a “W” tabelado, Tabela A-9 de Shapiro (1990), no nível de significância escolhido.

3.2.2.4 Transformação baseada na relação entre a Média e a Variância da amostra

Verifica-se, teoricamente, que a transformação mais indicada para homogeneização das variâncias é obtida através da integral indefinida do inverso da raiz quadrada da função que liga as variâncias às médias (ASSIS et al.,1996) ou seja:

$$Z_t = \int \frac{dX}{\sqrt{f(X)}} \quad (28)$$

Tendo em vista, que a função $f(X)$ entre a variância e a média de cada mês é melhor explicada pela relação:

$$S^2 = kX^b \quad (29)$$

Na qual S^2 é a variância, X é a média de cada variável e k uma constante, teremos:

$$Z_t = \int \frac{dX}{\sqrt{kX^b}} \quad (30)$$

Ou

$$Z_t = \frac{1}{\sqrt{k}} \int X^{-\frac{b}{2}} dX \quad (31)$$

E, finalmente, fazendo $\frac{1}{\sqrt{k}(1-\frac{b}{2})} = C$:

$$Z_t = CX^{1-\frac{b}{2}} \quad (32)$$

Onde **C** é uma constante. Em geral, o valor de **C** é escolhido de modo a tornar os valores transformados da mesma ordem de grandeza dos valores originais, sendo conveniente potências de dez.

O valor de b pode ser obtido da equação (29), tomando-se o logaritmo dos dois membros, o que resulta na seguinte expressão linear:

$$\log(S^2) = \log(k) + b \log(X) \quad (33)$$

Considerando a equação (33) reescrita na forma $Y = a + bx$, onde $Y = \log(S^2)$ e $x = \log(X)$, o valor de **b** pode ser estimado por

$$b = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \quad (34)$$

3.2.2.5. Estacionariedade

Uma das suposições mais freqüentes que se faz a respeito de uma série temporal é a de que ela seja estacionária, isto é, se desenvolva no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (série sem tendência). “Todavia, a maior parte das séries que encontramos na prática apresentam alguma forma de não-estacionariedade”, (MORETTIN E TOLOI, 2004).

Como a maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais supõe que estas sejam estacionárias, será necessário, transformar os dados, se estes não formam uma série estacionária. O procedimento utilizado, para se estimar a tendência para eliminá-la da série original, foi 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, ou seja, de uma série estacionária.

3.2.2.6. Fundamentação Matemática da Análise Harmônica

A equação utilizada para realizar a análise de Fourier ou análise harmônica dos dados de temperaturas máximas e mínimas para algumas localidades do Estado do Rio Grande do Sul, foi obtida de Baptista da Silva (1977):

$$Y_t = a_0 + a_1 \sin(wt + A_1) + a_2 \sin(2wt + A_2) + K + a_k \sin(kwt + A_k) \quad (35)$$

Onde:

a_0 = valor médio

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_k$ = amplitudes das 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 ($t = 0, 1, 2, \dots, T-1$)

T = subdivisões do período fundamental = período da função original

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

Os parâmetros do modelo apresentado na equação (35) são as amplitudes a_k e os ângulos fase A_k .

Desenvolvendo a equação (35) através da relação:

$$\text{sen}(a + b) = \text{sen}(a)\cos(b) + \text{sen}(b)\cos(a) \quad (36)$$

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 2, dadas por:

$$p_1 = a_1 \text{sen} A_1 \dots \dots \dots q_1 = a_1 \cos A_1 \quad (37)$$

$$p_2 = a_2 \text{sen} A_2 \dots \dots \dots q_2 = a_2 \cos A_2 \quad (38)$$

$$p_k = a_k \text{sen} A_k \dots \dots \dots q_k = a_k \cos A_k \quad (39)$$

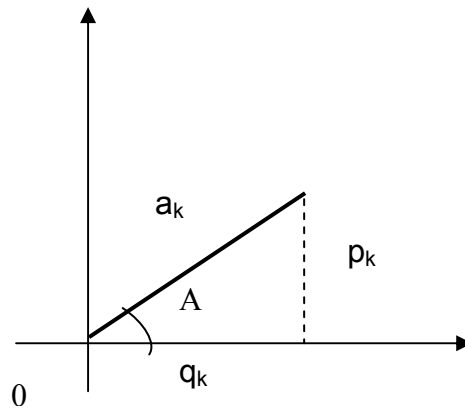


Figura 2 – Representação gráfica de A_k , a_k , p_k e q_k .

E fazendo-se $a_0 = p_0$, obtém-se:

$$Y_t = p_0 + q_1 \sen wt + p_1 \cos wt + q_2 \sen 2wt + p_2 \cos 2wt + \dots + q_k \sen kwt + p_k \cos kwt \quad (40)$$

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 co-senos. A previsão do valor do elemento climático para cada mês será, obtida pela soma algébrica, na forma:

$$Y_t = p_0 + \sum_{k=1}^m [p_k \cos(kwt) + q_k \sen(kwt)] \quad (41)$$

Onde “ m ” é a maior ordem de 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 impar. Sendo T o período fundamental. Esse período é igual ao comprimento da série ($T=N$). Em nosso caso, (temperaturas médias mensais) o período T igual a 12 meses, ou seja, o mês será considerado como unidade de tempo. Assim, a variação anual da temperatura máxima e mínima média mensal será decomposta em 6 ($m=T/2$) ondas senoidais de períodos 12, 6, 4, 3, 2,4 e 2 meses.

Os coeficientes p_0 , p_k e q_k serão calculados pelas equações (13), (14) (15) e (16), substituindo o período básico (T) por 12 meses; portanto, os coeficientes serão:

$$p_0 = \bar{Y} \quad (42)$$

$$p_k = \frac{1}{6} \sum_{t=0}^{t=11} \left[Y_t \cos\left(\frac{\pi}{6} kt\right) \right] \quad (43)$$

$$q_k = \frac{1}{6} \sum_{t=0}^{t=11} \left[Y_t \sin\left(\frac{\pi}{6} kt\right) \right] \quad (44)$$

Com $K = 1, 2, 3, 4, 5$ e ainda

$$p_{(6)} = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{t=11} Y_t \cos(\pi t) \quad (45)$$

$$q_{(6)} = 0 \quad (46)$$

Após serão determinadas a amplitude (a_k) de cada harmônica e a fração da variação total explicada por cada harmônica (var_k), pelas seguintes equações:

$$a_k = \sqrt{p_k^2 + q_k^2} \quad (47)$$

$$Var_k = \frac{a_k^2}{2\sigma^2} \quad (48)$$

Onde σ^2 representa a variância da série.

Se todas as harmônicas forem computadas e então adicionadas à média, o resultado é exatamente o dado original do evento analisado. Mas nem sempre é necessário a utilização de todas as harmônicas 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, $r^2 \geq 90\%$, sem excessiva complexidade.

Para cada estação meteorológica estudada, foi aplicada a técnica da análise harmônica, para a identificação dos harmônicos existentes e sua importância na composição do modelo de temperaturas médias mínimas e máximas para cada estação. Foram utilizados dados de 85 anos, de 1918 a 2002, para a análise harmônica e composição dos modelos e 5 anos, de 2003 a 2007, para previsões.

3.2.2.7. Teste t.

O teste t (de Student) pode, igualmente, ser utilizado para verificação do ajuste dos modelos (TOGRUL & TOGRUL, 2002).

Os modelos, para previsão da série de temperaturas médias mensais mínimas e máximas, foram testados quanto ao desempenho através do teste “t”, envolvendo os indicadores estatísticos RMSE (root mean square error) e MBE (mean bias error). A estatística “t”, usada por Togrul e Togrul (2002), é assim definida:

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (49)$$

Onde:

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2\right)} \quad (50)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (51)$$

Sendo, **n** o número de dados e **d_i** a diferença entre o valor estimado pelo modelo e o valor observado.

Os valores estimados pelo modelo serão significativos, ou seja, o modelo ajusta-se aos dados, quando o valor de “t” calculado for menor que o valor de “t” tabelado, para n-1 graus de liberdade, no nível de significância escolhido.

Um resumo da metodologia usada para ajustar modelos de séries temporais à série de temperaturas médias mensais, mínimas e máximas, para cada estação meteorológica em estudo, foi o seguinte:

- *1⁰) Ajuste dos dados para um mês de trinta dias.
- *2⁰) Teste de homogeneidade de variâncias e de normalidade.
- *3⁰) Construção de gráficos para descrição do comportamento do conjunto total de dados (90 anos) através da inspeção visual;
- *4⁰) Verificação da existência de tendência;
- *5⁰) Estimativa da tendência pelo método de ajuste polinomial, conforme descrito anteriormente.
- *6⁰) Determinação da série ajustada livre de tendência
- *7⁰) Modelagem da componente determinística desde, os dados livres de tendência. Modelo obtido é válido para um ano médio.
- *8⁰) Para verificar a adequabilidade do modelo para previsão de valores futuros, as médias mensais dos 5 anos restantes (2003 a 2007) da série livre de tendência, que não participaram da modelagem, foram comparados com os valores estimados pelo modelo. O ajuste do modelo aos dados observados, foi verificado por meio do coeficiente de determinação r^2 ;
- *9⁰) Para prever valores futuros da série original de temperaturas médias mensais, acrescentou-se a estimativa da tendência, ao modelo proposto para a componente determinística da série.
- *10⁰) Os valores estimados pelo modelo foram comparados com os valores mensais referentes aos últimos 5 anos (2003 a 2007) e apresentados em tabelas, junto com os erros de previsão.
- *11⁰) Os modelos, para previsão da série de temperaturas médias mensais mínimas e máximas, foram testados quanto ao desempenho através da análise gráfica e do teste t.

Para a realização deste estudo, foram utilizados o software Excel, STATISTICA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo da Tendência

Neste item são apresentados os resultados do estudo da tendência da temperatura mínima média mensal e da temperatura máxima média mensal, realizado para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, em 10 estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, para o período total de 90 anos, de 1918 a 2007, e para os períodos parciais de 30 anos, de 1918 a 1947, de 1948 a 1977 e de 1978 a 2007.

4.1.1 Estudo da Tendência da Temperatura Mínima Média Mensal

Através da análise dos gráficos (Apêndice A, Fig. 1 a 10) da variável temperatura mínima média mensal versus tempo, durante o período referente aos 90 anos, verifica-se uma tendência linearmente crescente nessa variável, em praticamente todas as estações selecionadas e para todos os meses estudados.

Esta característica é de grande importância, pois mostra predomínio de aumento da temperatura mínima média mensal em praticamente todo o Estado do Rio Grande do Sul.

No entanto, na análise dos gráficos para os períodos parciais de 30 anos, (figuras não mostradas) essa tendência crescente, nem sempre foi verificada, pois ocorreram meses com tendências negativas e outros com ausência de tendência, sendo que, no 3^o período tri-decadal, ou seja, de 1978 a 2007, em praticamente todas as estações estudadas, observou-se a reta da tendência horizontal ou com uma inclinação decrescente, mostrando que a tendência da temperatura mínima média mensal para os últimos 30 anos, aponta para valores neutros ou negativos em todo o Estado do Rio Grande do Sul.

Através da análise estatística, verificada por meio da significância do coeficiente de regressão linear (**b**), nos níveis de 10% ($t_{0,10;88} = 1,66$, 5% ($t_{0,05;88} = 1,99$ e 1% ($t_{0,01;88} = 2,64$, constata-se, conforme a tab. 2, que no período referente aos 90 anos (1918 a 2007), predomina uma tendência positiva em todas as estações e em todos os meses do estudo, sendo a estação de Iraí, localizada bem ao norte do Estado, (latitude $27^{\circ}11''$, longitude $53^{\circ}14''$, altitude 215m), a que apresentou a maior variabilidade (V_t), registrando $2,6^{\circ}\text{C}$, $2,1^{\circ}\text{C}$, $3,4^{\circ}\text{C}$ e $4,0^{\circ}\text{C}$, respectivamente para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, sendo esses aumentos significativos a 1%.

A seguir, vem as estações de Bento Gonçalves e Pelotas, que apresentaram, conforme a tab. 2, uma variabilidade semelhante ao longo dos 90 anos, também significativas a 1 %.

Estes resultados concordam com os obtidos por Mezzomo (2005), o qual, num período de 100 anos, encontrou aumentos da $T_{\min}$ média trimestral numa região climática do Rio Grande do Sul, variando de $1,2^{\circ}\text{C}$ a $2,8^{\circ}\text{C}$, conforme o trimestre, e também com os resultados obtidos por Steinmetz et al (2005) que encontraram um aumento da média anual da $T_{\min}$, de $1,01^{\circ}\text{C}$, na região de Pelotas, no período de 1893 a 2004 (112 anos).

Tabela 2 – Valores da inclinação da reta (**b**), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância *t* (Student), dos meses selecionados, no período de 1918 e 2007, nas estações de estudo, onde **b** está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 90b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	0,007	0,65	1,67*	0,007	0,62	0,91	0,016	1,44	2,62**	0,011	1,00	2,25**
BTO	0,026	2,38	6,97***	0,019	1,70	2,65***	0,028	2,52	4,66***	0,029	2,64	6,32***
IRA	0,029	2,63	5,18***	0,023	2,08	2,94***	0,038	3,44	5,42***	0,044	3,96	7,37***
PEL	0,025	2,26	5,07***	0,020	1,81	2,59**	0,026	2,33	4,25***	0,031	2,83	5,91***
PFD	0,014	1,24	3,14***	0,014	1,27	2,06**	0,022	1,96	3,61***	0,015	1,32	3,72***
POA	0,015	1,37	3,87***	0,013	1,20	1,90*	0,014	1,29	2,45**	0,016	1,44	4,10***
SBJ	0,007	0,60	1,64	0,005	0,43	0,61	0,013	1,16	1,94*	0,013	1,16	2,50**
SLM	0,007	0,59	1,50	0,016	1,45	2,23**	0,020	1,82	3,18***	0,018	1,66	3,57***
SMR	0,017	1,51	3,87***	0,001	0,10	0,14	0,014	1,28	2,22**	0,022	2,00	4,27***
SVT	0,011	0,97	2,60**	0,004	0,35	0,55	0,008	0,71	1,62	0,012	1,11	2,54**

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

Na análise da série total, separada por intervalos de 30 anos, sendo o valor de t nos níveis de 10% ($t_{0,10;28} = 1,70$), 5% ($t_{0,05;28} = 2,05$) e 1% ($t_{0,01;28} = 2,76$), observa-se, conforme indica a tab. 3, que no período de 1918 a 1947, o coeficiente angular das equações de regressão (b), resulta geralmente positivo, indicando que continua o predomínio de tendências positivas em praticamente todas as estações analisadas e em todos os meses do estudo, porém, para valores com nível de confiança de no mínimo 95%, destaca-se a estação de Passo Fundo na qual verifica-se um acréscimo de $2,2^{\circ}\text{C}$ para o mês de fevereiro e de $2,7^{\circ}\text{C}$ para o mês de maio e a estação de Porto Alegre a qual apresenta um acréscimo de $1,4^{\circ}\text{C}$ para o mês de fevereiro e de $2,2^{\circ}\text{C}$ para o mês de maio.

Tabela 3 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1918 e 1947, nas estações de estudo, onde b está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 30b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	0,017	0,52	0,70	0,045	1,35	1,29	0,051	1,53	1,37	0,014	0,41	0,51
BTO	0,019	0,57	0,86	0,007	0,21	0,21	0,055	1,64	1,52	0,012	0,35	0,39
IRA	0,002	0,05	0,08	0,032	0,95	0,81	0,025	0,76	0,62	0,027	0,80	0,76
PEL	0,020	0,60	0,87	0,009	0,27	0,26	0,034	1,03	1,06	0,027	0,81	1,06
PFD	0,073	2,20	2,84***	0,091	2,74	2,54**	0,079	2,37	2,03*	0,028	0,83	1,26
POA	0,047	1,40	2,97***	0,073	2,20	2,14**	0,049	1,48	1,39	0,039	1,16	1,80*
SBJ	0,016	0,47	0,72	0,021	0,62	0,56	0,024	0,72	0,59	-0,020	-0,59	-0,75
SLM	-0,017	-0,52	-0,75	0,047	1,41	1,37	0,042	1,26	1,03	-0,014	-0,41	-0,45
SMR	0,027	0,81	1,22	0,048	1,43	1,30	0,076	2,28	1,93*	0,016	0,47	0,60
SVT	0,004	0,11	0,14	0,025	0,76	0,65	0,017	0,50	0,61	0,006	0,19	0,21

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

No período de 1948 a 1977, que corresponde ao segundo intervalo da série, verifica-se, conforme a tab. 4, que novamente essa tendência positiva é verificada na maioria das estações, sendo a estação de Iraí a que apresenta a maior variabilidade, registrando um acréscimo de $3,1^{\circ}\text{C}$, $2,7^{\circ}\text{C}$ e $2,6^{\circ}\text{C}$ respectivamente para os meses de fevereiro, agosto e novembro, e na estação de Bento Gonçalves verifica-se para o mês de fevereiro um acréscimo de $1,6^{\circ}\text{C}$, valores estes significativos a 1%.

Tabela 4 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1948 e 1977, nas estações de estudo, onde b está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 30b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	0,005	0,14	0,24	-0,004	-0,11	-0,09	-0,009	-0,28	-0,32	-0,029	-0,86	-0,99
BTO	0,054	1,63	2,95***	0,043	1,29	1,00	0,032	0,97	1,11	0,040	1,21	1,81*
IRA	0,105	3,15	3,49***	0,076	2,29	1,95*	0,089	2,67	2,85***	0,085	2,56	3,04***
PEL	0,042	1,27	1,79*	0,001	0,04	0,03	0,028	0,85	0,95	0,016	0,47	0,58
PFD	0,036	1,09	1,93*	0,036	1,08	1,02	0,020	0,59	0,72	0,019	0,58	0,87
POA	0,026	0,78	1,29	0,023	0,70	0,61	0,039	1,16	1,56	0,003	0,08	0,13
SBJ	0,000	0,01	0,02	-0,009	-0,26	-0,19	-0,014	-0,42	-0,44	-0,022	-0,66	-0,77
SLM	-0,012	-0,37	-0,53	0,026	0,77	0,59	0,028	0,85	1,03	0,015	0,46	0,58
SMR	0,036	1,08	1,77*	0,024	0,71	0,58	-0,004	-0,11	-0,16	0,031	0,92	0,97
STV	0,035	1,06	1,71*	0,007	0,21	0,17	0,013	0,40	0,65	0,012	0,35	0,44

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

Marques et al. (2005) indicaram que, no período de 1948 a 2004 (57 anos) a temperatura mínima média no Rio Grande do Sul, no período de outubro a março apresentou aumentos variando de $0,9^{\circ}\text{C}$ a $1,7^{\circ}\text{C}$.

Com relação ao terceiro e último intervalo da série, que corresponde ao período de 1978 a 2007, observa-se, que ao contrário dos intervalos anteriores, ocorre agora uma tendência negativa em todas as estações estudadas e em praticamente todos os meses do estudo, porém esses decréscimos não são significativos a 5%. Na tab. 5 estão representadas as variabilidades ocorridas nas estações do estudo para esse período.

Tabela 5 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura mínima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1978 e 2007, nas estações de estudo, onde b está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 30b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	-0,039	-1,18	-1,81*	-0,017	-0,52	-0,42	-0,016	-0,49	-0,56	-0,028	-0,85	-1,40
BTO	-0,008	-0,25	-0,47	-0,015	-0,44	-0,44	0,000	0,01	0,02	0,008	0,24	0,40
IRA	-0,040	-1,21	-1,40	-0,035	-1,05	-0,83	-0,022	-0,65	-0,65	-0,020	-0,60	-0,93
PEL	-0,018	-0,55	-0,61	0,006	0,19	0,13	0,002	0,05	0,06	0,013	0,38	0,43
PFD	-0,012	-0,36	-0,59	-0,020	-0,61	-0,62	0,006	0,18	0,22	-0,009	-0,27	-0,50
POA	-0,025	-0,76	-1,09	-0,001	-0,04	-0,03	0,000	-0,01	-0,01	0,001	0,02	0,03
SBJ	-0,032	-0,97	-1,60	-0,024	-0,71	-0,55	-0,016	-0,48	-0,51	-0,012	-0,36	-0,57
SLM	-0,002	-0,05	-0,08	0,000	0,01	0,01	0,004	0,13	0,15	0,011	0,33	0,45
SMR	-0,016	-0,47	-0,62	-0,017	-0,51	-0,40	-0,002	-0,07	-0,08	-0,005	-0,16	-0,25
STV	-0,014	-0,41	-0,72	-0,006	-0,19	-0,19	0,014	0,43	0,49	0,005	0,14	0,25

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

Wrege et al., 2007, com o objetivo de determinar as mudanças que estão ocorrendo para o somatório de horas de frio ($< 7,2^{\circ}\text{C}$) no extremo sul do Brasil, entre maio e setembro, encontrou antes do início do período de declínio, um período, compreendido entre meados da década de 1980 e meados da década de 1990, em que as mesmas ficaram maiores, ocorrendo inclusive aumento do número de anos com até 300h de frio acumuladas. Foram registrado na cidade de Pelotas - RS para o ano de 1986, 234h e para o ano de 1988, 885h de frio. Esse acréscimo, mascarando, em parte, a tendência do aquecimento regional, talvez justifique a tendência verificada nos valores médios da temperatura mínima nos últimos 30 anos do estudo.

4.1.1.1 Análise dos mapas de isolinhas de tendências da temperatura mínima

Na análise do comportamento da tendência da temperatura mínima média mensal, através dos mapas com isolinhas de temperatura, para o período de 1918 a 2007 (90 anos) observa-se, conforme a Fig. 3, uma tendência positiva em todo o Estado e em todos os meses do estudo, sendo essas tendências mais destacadas nas regiões Norte e Nordeste. Podemos observar também, como mostra a Fig. 3(d),

que o mês de novembro, representando o mês central da estação da primavera, registra os maiores valores de tendência e que a menor variabilidade, é verificada no mês de maio (Fig. 3b), representando o mês central da estação do outono.

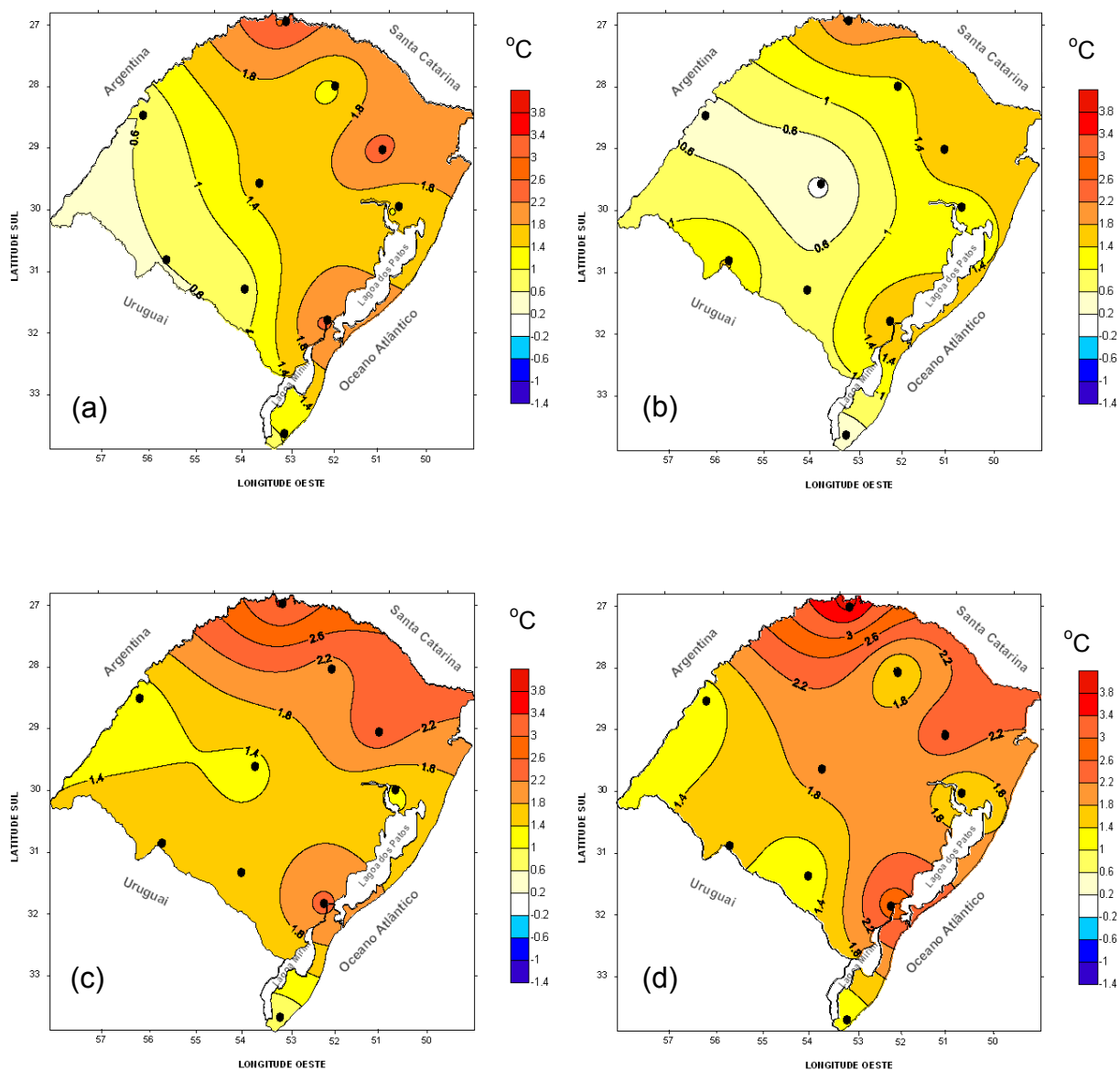


Figura 3 –Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal, em °C, para o período de 1918 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

Ainda de acordo com a Fig. 3, (a,b,c,d), verifica-se que a tendência da temperatura mínima média mensal apresenta aumentos de sudoeste para nordeste, mostrando que essa variabilidade pode estar sendo influenciada pela entrada de massas polares e/ou frentes frias vindas do sul da América do Sul.

Na análise da série total, separada por intervalos de 30 anos, podemos observar, que no primeiro intervalo, ou seja, de 1918 a 1947, os meses de maio(outono) e agosto(inverno), conforme mostra a Fig. 4 (b e c), continuam apresentando tendências positivas em todo o Estado, com destaque para as estações localizadas no Centro e no Nordeste. No mês de novembro (primavera), conforme a Fig. 4(d), ao contrário do observado na série total, verifica-se agora, as menores variabilidades, ocorrendo neste mês uma área a oeste do Estado com tendências negativas.

Na análise para o segundo intervalo do período total, ou seja, para o período de 1948 a 1977 observa-se, conforme a Fig. 5, predomínio de tendências positivas, em praticamente todo o Estado, com destaque novamente para as regiões Norte e Nordeste, onde a estação de Iraí apresenta a maior variabilidade em todos os meses estudados. Na região Sudoeste observa-se em todos os meses do estudo as menores variabilidades, ocorrendo inclusive, em alguns meses, algumas estações com tendências negativas.

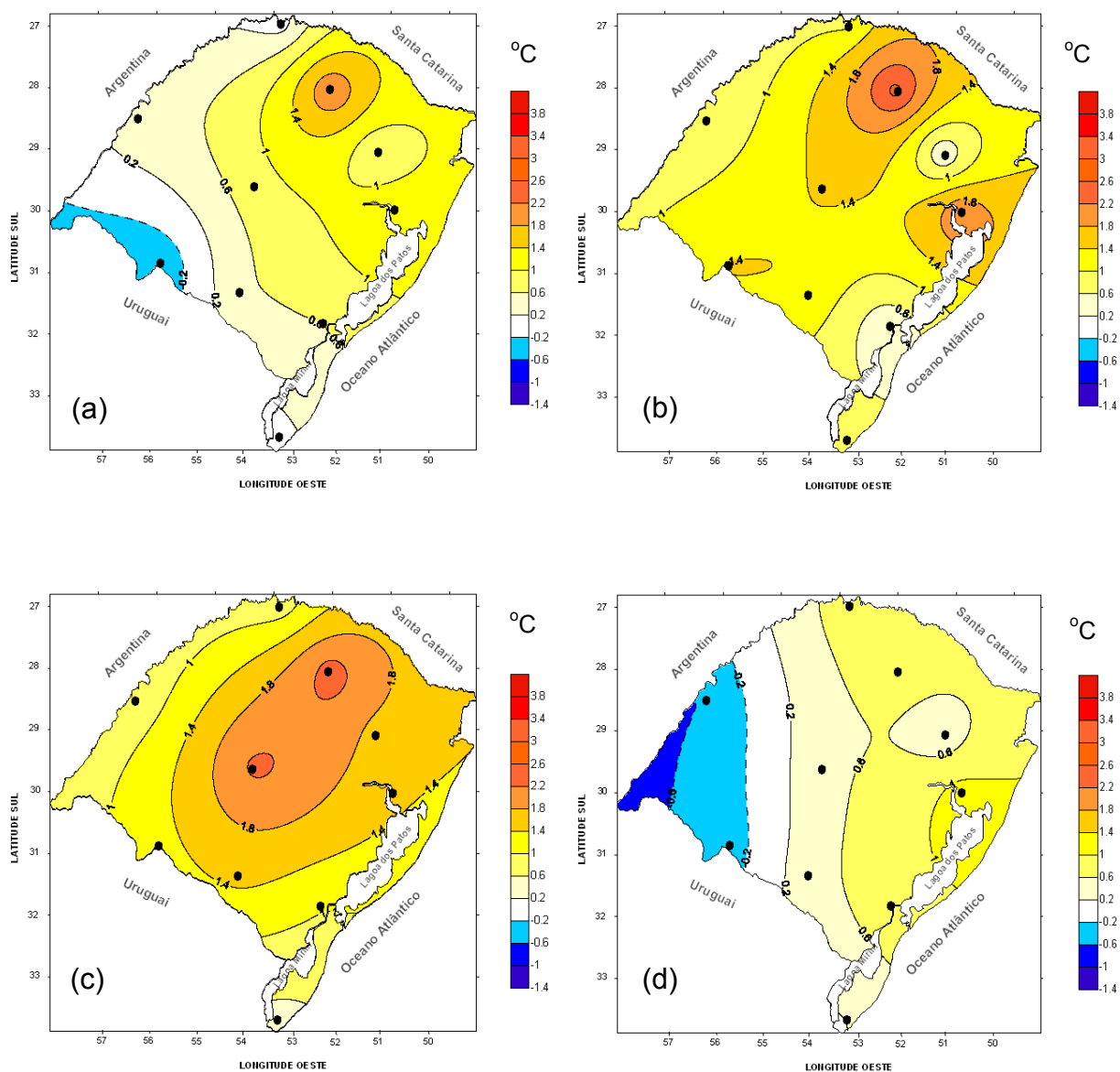


Figura 4 –Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal, em °C, para o período de 1918 a 1947 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

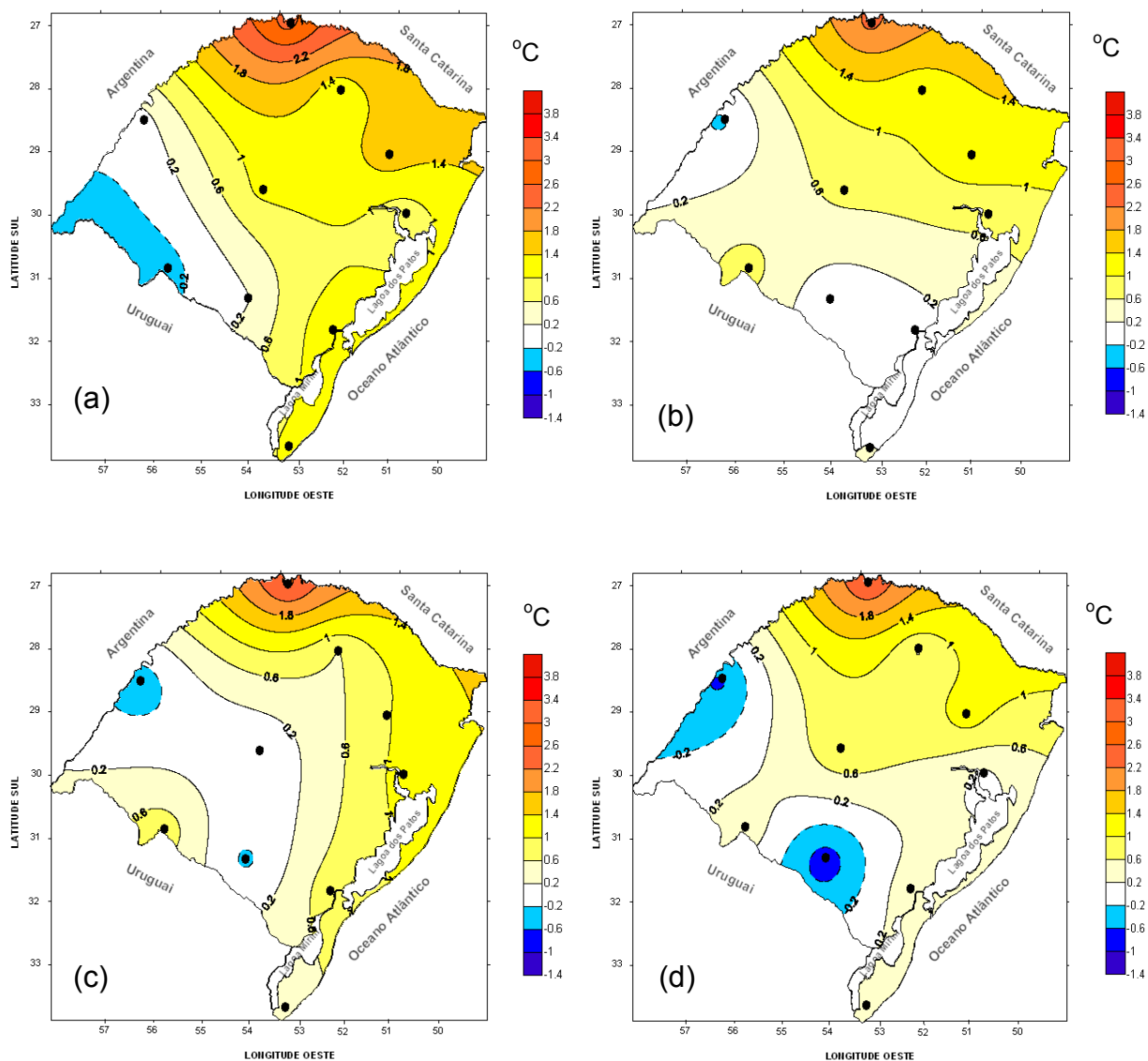


Figura 5.-Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal, em °C, para o período de 1948 a 1977 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

Para os últimos 30 anos da série de estudo, ou seja, de 1978 a 2007, observa-se, conforme a Fig. 6, predomínio de tendência negativa em todos os meses estudados e em praticamente todas as regiões do Estado, sendo esse decréscimo verificado com mais intensidade, no mês de fevereiro(verão) (Fig. 6 a).

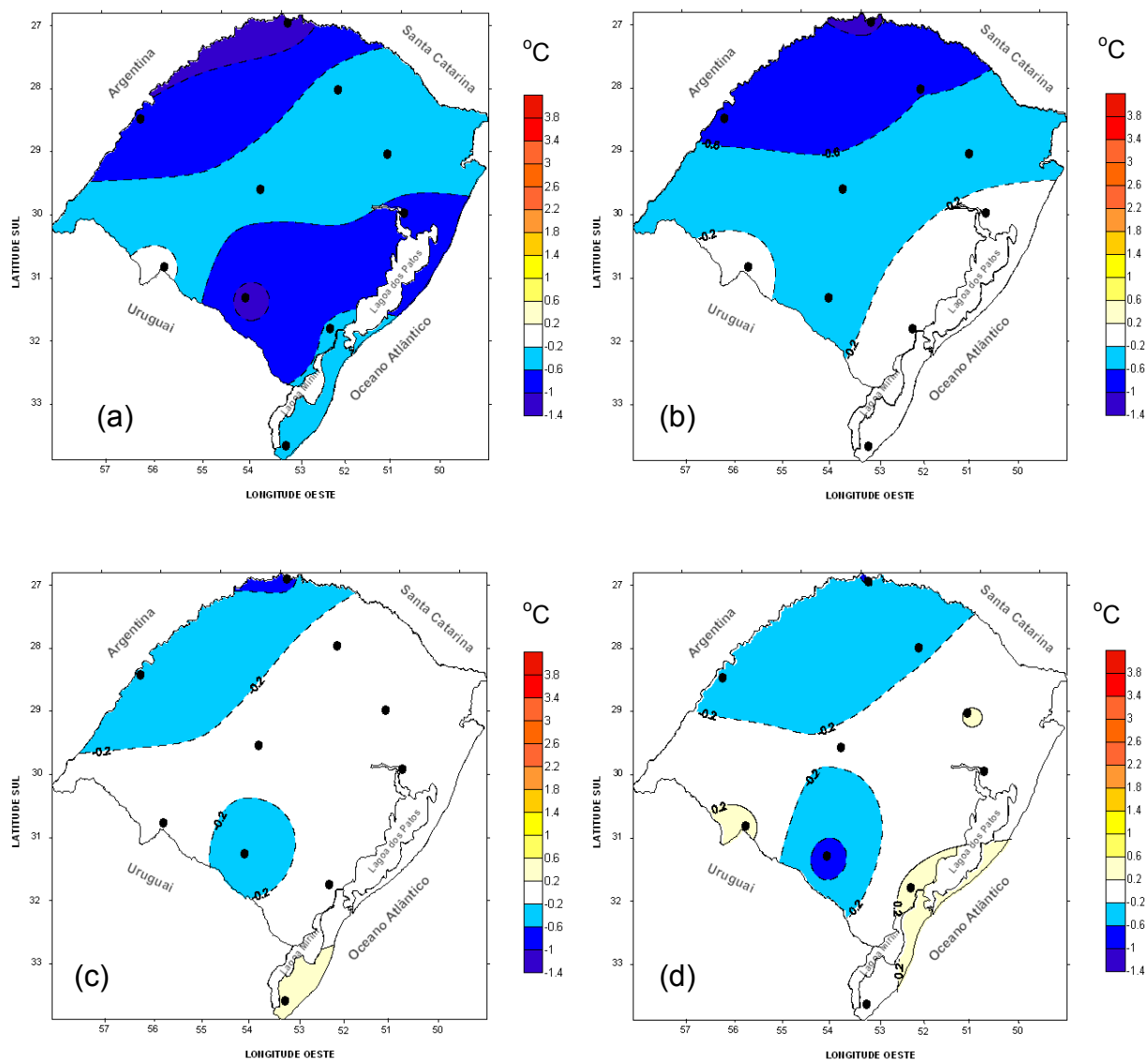


Figura 6.-Visualização espacial da tendência da temperatura mínima média mensal, em °C, para o período de 1978 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

4.1.2 Estudo da Tendência da Temperatura Máxima Média Mensal

Na análise dos gráficos (Apêndice B, Fig. 11 a 20) da variável temperatura máxima média mensal versus tempo, durante o período de 1918 a 2007 (90 anos), observa-se um predomínio de tendência linear decrescente nessa variável em praticamente todas as estações selecionadas e na maioria dos meses estudados.

No entanto, na análise dos gráficos para os períodos parciais de 30 anos (figuras não mostradas), observa-se que no primeiro período da série (1918 a 1947) a reta de tendência apresenta uma inclinação crescente, mostrando um acréscimo nessa variável, para esse período, em praticamente todas as estações e meses estudados, enquanto que no segundo intervalo da série (1948 a 1977), contrariando a tendência do período anterior, observa-se um decréscimo em praticamente todas as estações e meses do estudo. No terceiro e último intervalo (1978 a 2007) observa-se um predomínio de tendência linear crescente, nos meses de agosto e novembro e um predomínio de tendência decrescente nos meses de fevereiro e maio em praticamente todas as estações selecionadas.

Através da análise estatística da tendência (b), apenas para valores significativos a 5% ($t_{0,05;88} = 1,99$), constata-se, conforme a tab. 6, que ao longo dos 90 anos de estudo, as estações de Bagé, Bento Gonçalves, São Borja, Santana do Livramento, Santa Maria e Santa Vitória apresentaram tendências negativas no mês de fevereiro, destacando-se a estação de Santana do Livramento, a qual apresentou um decréscimo de $2,2^{\circ}\text{C}$. A estação de Iraí apresentou, para o mês de agosto, uma tendência positiva de $1,8^{\circ}\text{C}$ e as estações de Bento Gonçalves e Santana do Livramento apresentaram para o mês de novembro decréscimos de $1,4^{\circ}\text{C}$ e $1,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

Tabela 6 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1918 e 2007, nas estações de estudo, onde **b** está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 90b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	-0,013	-1,20	-2,10**	-0,008	-0,72	-1,15	0,009	0,81	1,38	-0,005	-0,41	-0,89
BTO	-0,016	-1,40	-3,21***	-0,014	-1,24	-1,90*	-0,008	-0,69	-1,16	-0,015	-1,37	-3,08***
IRA	-0,007	-0,63	-1,31	0,010	0,93	1,48	0,020	1,78	2,91***	0,007	0,59	1,12
PEL	-0,004	-0,40	-0,86	-0,006	-0,54	-0,93	0,005	0,42	0,77	0,004	0,35	0,92
PFD	-0,006	-0,55	-1,37	0,003	0,28	0,46	0,004	0,34	0,54	0,006	0,57	1,42
POA	0,002	0,17	0,41	-0,001	-0,09	-0,15	0,012	1,06	1,92*	0,005	0,41	1,09
SBJ	-0,013	-1,15	-2,07**	0,005	0,44	0,67	0,008	0,68	1,01	-0,002	-0,14	-0,26
SLM	-0,024	-2,16	-3,04***	-0,012	-1,08	-1,68*	-0,005	-0,41	-0,68	-0,017	-1,56	-2,91***
SMR	-0,015	-1,38	-3,02***	-0,006	-0,57	-0,87	0,001	0,10	0,15	0,000	-0,04	-0,08
SVT	-0,013	-1,16	-2,30**	-0,003	-0,25	-0,47	0,006	0,53	1,14	-0,007	-0,60	-1,45

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

No estudo da série total, separada por períodos de 30 anos, observa-se para os primeiros 30 anos, que corresponde ao período de 1918 a 1947, uma variabilidade positiva na maioria das estações estudadas. Conforme a tab. 7, as estações de Iraí e São Borja são as que mais se destacam, apresentando as maiores variabilidades. A estação de Iraí apresentou para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro uma variabilidade de 1,6⁰C , 2,4⁰C, 3,6⁰C e 2,5⁰C, respectivamente e a estação de São Borja apresentou para os meses de fevereiro, maio e agosto uma variabilidade respectivamente, de 2,7⁰C, 2,4⁰C e 3,2⁰C, significativos a 5%.

Tabela 7 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1918 e 1947, nas estações de estudo, onde **b** está em ⁰C/ano e $V_t = 30b$, em ⁰C.

	Fev			Maio			Ago			Nov		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	0,041	1,22	1,23	0,017	0,50	0,51	0,041	1,23	1,09	0,005	0,15	0,22
BTO	-0,002	-0,07	-0,09	0,061	1,82	1,89*	0,030	0,91	0,76	-0,001	-0,02	-0,02
IRA	0,054	1,63	2,05**	0,079	2,38	2,14**	0,121	3,64	3,51***	0,082	2,46	3,47***
PEL	0,033	0,98	1,07	0,031	0,93	0,97	0,026	0,79	0,8	0,006	0,17	0,27
PFD	0,019	0,58	0,77	0,018	0,54	0,55	0,017	0,51	0,41	0,018	0,55	0,89
POA	0,019	0,58	0,67	0,021	0,63	0,62	0,051	1,53	1,4	0,014	0,41	0,66
SBJ	0,091	2,72	2,77***	0,080	2,40	2,08**	0,106	3,19	2,98***	0,054	1,62	1,99*
SLM	-0,042	-1,27	-0,83	0,014	0,42	0,37	0,054	1,61	1,4	-0,025	-0,74	-0,84
SMR	-0,007	-0,22	-0,24	0,007	0,22	0,19	0,077	2,30	1,87*	0,001	0,02	0,03
SVT	0,063	1,88	2,11**	0,023	0,70	0,65	0,020	0,59	0,66	-0,003	-0,08	-0,1

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

Com relação ao segundo período, que corresponde de 1948 a 1977, verifica-se, conforme a tab. 8, um predomínio de tendência negativa em praticamente todas as estações selecionadas e em todos os meses estudados. As estações de Bento Gonçalves, Iraí, Pelotas, Porto Alegre, São Borja, Santana do Livramento e Santa Maria apresentaram tendências significativas no mês de agosto, sendo que nas três últimas essa tendência negativa é verificada também nos meses de fevereiro e novembro. Nas estações de Iraí e Porto Alegre esse decréscimo também é significativo no mês de novembro.

Tabela 8 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1948 e 1977, nas estações de estudo, onde b está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 30b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	-0,018	-0,55	-0,62	0,029	0,86	0,77	-0,032	-0,96	-1,15	-0,051	-1,52	-1,73*
BTO	0,047	1,41	2,00*	0,014	0,41	0,34	-0,064	-1,93	-2,06**	-0,042	-1,26	-1,45
IRA	-0,040	-1,20	-1,57	0,005	0,14	0,15	-0,066	-1,98	-2,08**	-0,117	-3,52	-4,65***
PEL	0,003	0,08	0,10	-0,024	-0,71	-0,73	-0,059	-1,77	-2,37**	-0,029	-0,86	-1,19
PFD	0,035	1,05	1,54	0,017	0,52	0,49	-0,061	-1,82	-1,79*	-0,036	-1,09	-1,37
POA	-0,006	-0,18	-0,25	-0,025	-0,76	-0,71	-0,061	-1,84	-2,28**	-0,046	-1,39	-2,23**
SBJ	-0,083	-2,48	-3,03***	-0,038	-1,15	-1,06	-0,127	-3,80	-3,74***	-0,071	-2,14	-2,36**
SLM	-0,113	-3,38	-3,08***	-0,033	-0,98	-0,84	-0,094	-2,83	-3,53***	-0,104	-3,12	-3,49***
SMR	-0,072	-2,16	-3,01***	-0,028	-0,84	-0,75	-0,100	-3,01	-4,02***	-0,063	-1,88	-2,43**
SVT	-0,045	-1,35	-1,37	-0,008	-0,25	-0,26	-0,027	-0,81	-1,20	-0,029	-0,87	-1,13

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

Para os últimos 30 anos do estudo, referente ao período de 1978 a 2007 verifica-se, conforme a tab. 9, predomínio de tendência negativa nos meses de fevereiro e maio, e de tendências positivas nos meses de agosto e novembro, mas como estamos analisando apenas tendências significativas a 5% destaca-se apenas a estação de Bagé com um decréscimo no mês de maio de $2,7^{\circ}\text{C}$.

Tabela 9 – Valores da inclinação da reta (b), variação total da temperatura máxima média mensal (V_t) e teste de significância t (Student), dos meses selecionados, no período de 1978 e 2007, nas estações de estudo, onde b está em $^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ e $V_t = 30b$, em $^{\circ}\text{C}$.

	Fev.			Maio			Ago.			Nov.		
	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t	b	V_t	t
BAG	-0,021	-0,63	-0,59	-0,091	-2,74	-2,57**	-0,017	-0,52	-0,49	-0,020	-0,61	-0,74
BTO	-0,027	-0,82	-1,32	-0,049	-1,48	-1,27	0,043	1,30	1,49	0,011	0,33	0,51
IRA	-0,014	-0,43	-0,52	-0,030	-0,89	-0,79	0,064	1,92	2,02*	0,030	0,90	1,01
PEL	-0,020	-0,59	-0,74	-0,061	-1,84	-1,72*	-0,001	-0,03	-0,03	0,013	0,39	0,63
PFD	-0,013	-0,39	-0,61	-0,040	-1,20	-1,12	0,055	1,66	1,76*	0,028	0,83	1,22
POA	-0,004	-0,11	-0,16	-0,009	-0,28	-0,27	0,056	1,67	1,94*	0,041	1,23	1,87*
SBJ	0,013	0,38	0,44	-0,045	-1,36	-1,23	0,022	0,65	0,62	0,017	0,50	0,60
SLM	0,019	0,56	0,60	-0,038	-1,15	-1,07	0,013	0,40	0,37	0,012	0,36	0,39
SMR	0,000	-0,01	-0,01	-0,034	-1,03	-0,84	0,050	1,50	1,50	0,027	0,81	1,04
SVT	0,013	0,38	0,62	-0,021	-0,62	-0,78	0,044	1,32	1,59	0,033	1,00	1,74*

Nota: Valores com nível de confiança de 99% (***), valores com nível de confiança de 95% (**), valores com nível de confiança de 90% (*), demais valores com nível de confiança menor do que 90%.

4.1.2.1 Análise dos mapas de isolinhas de tendências da temperatura máxima

Na análise do comportamento da tendência da temperatura máxima média mensal, através dos mapas com isolinhas de temperatura, para o período de 1918 a 2007 (90 anos) percebe-se, nos meses de fevereiro, maio e novembro, Fig. 7 (a,b,d), uma tendência negativa em praticamente todo o Estado, com destaque para o mês de fevereiro onde verificam-se os maiores valores.

No mês de agosto (Fig. 7c), que representa a estação do inverno, verifica-se uma variabilidade positiva no Norte e no Sul do Estado, com destaque para a estação de Iraí.

Turkes et al. (1996), estudaram as mudanças nas médias sazonais das temperaturas mínimas e máximas, para o período de 1930-1993, na Turquia. Segundo estes autores, as temperaturas máximas mostraram uma significativa tendência de resfriamento no verão e outono, enquanto que as mínimas indicaram uma forte tendência de aquecimento em todas as estações do ano, exceto no inverno.

A tendência de redução, na média das temperaturas máximas, verificada ao longo dos 90 anos de estudo, talvez se justifique, uma vez que os aumentos verificados na tendência da temperatura mínima, de modo geral, causam aumento da evaporação à superfície, o que resulta menor quantidade de água no solo e conseqüentemente maior formação de nuvens. Como uma parcela da energia emitida pelo Sol, é absorvida e refletida pelas nuvens, esta parcela tende a aumentar e, por conseguinte diminui a parcela de energia que atinge a superfície da Terra, ocasionando uma tendência negativa nessa variável.

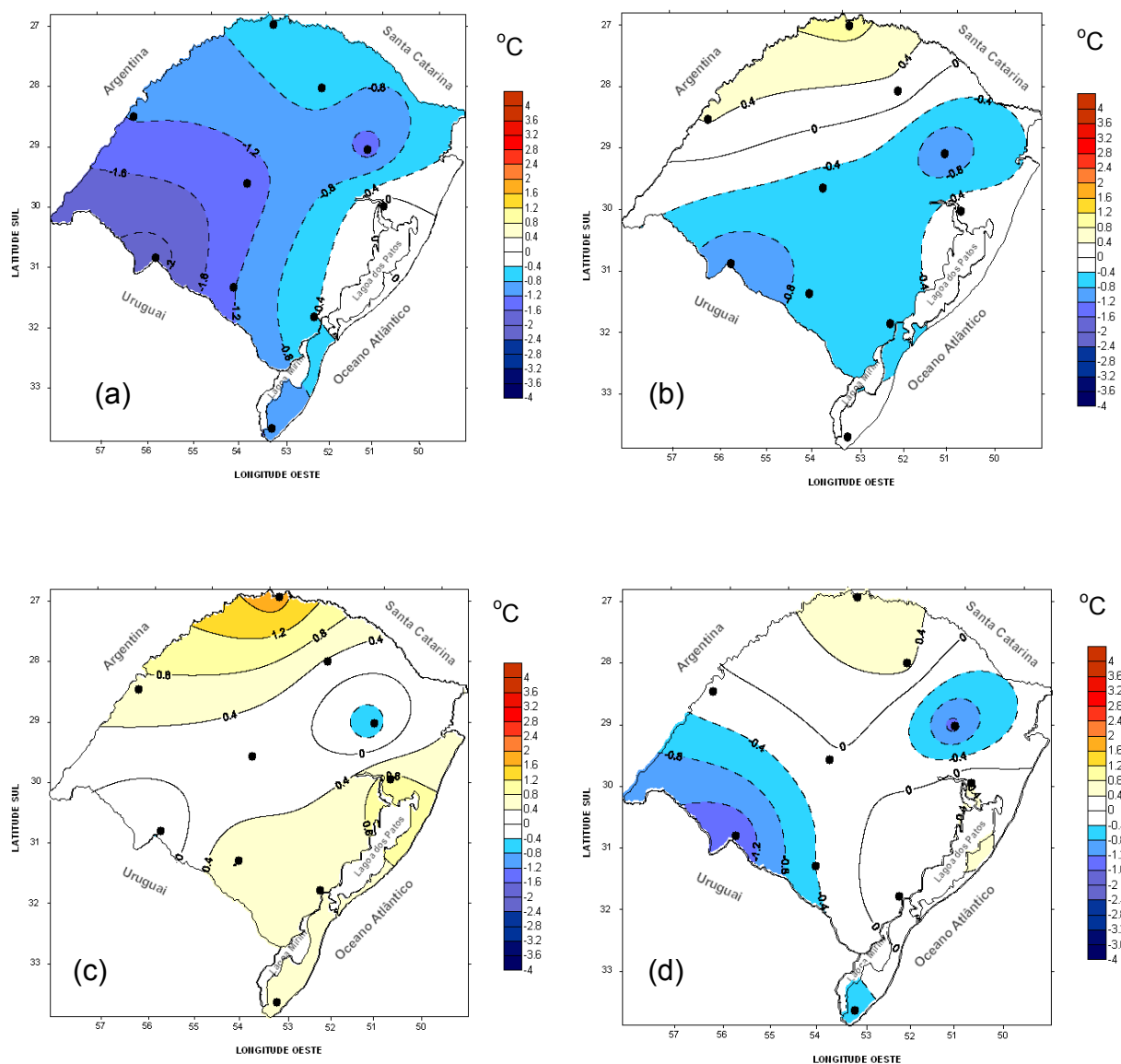


Figura 7 –Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal, em °C, para o período de 1918 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

No estudo da série total, separada por intervalos de 30 anos, verifica-se na Fig. 8, que para o período de 1918 a 1947, os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro apresentam tendências positivas, em praticamente todo o Estado, com destaque para a região Noroeste no mês de agosto. Nos meses de fevereiro e novembro, Fig. 8 (a, d), a região ao redor da estação de Santana do Livramento, continuou mostrando tendências de decréscimo.

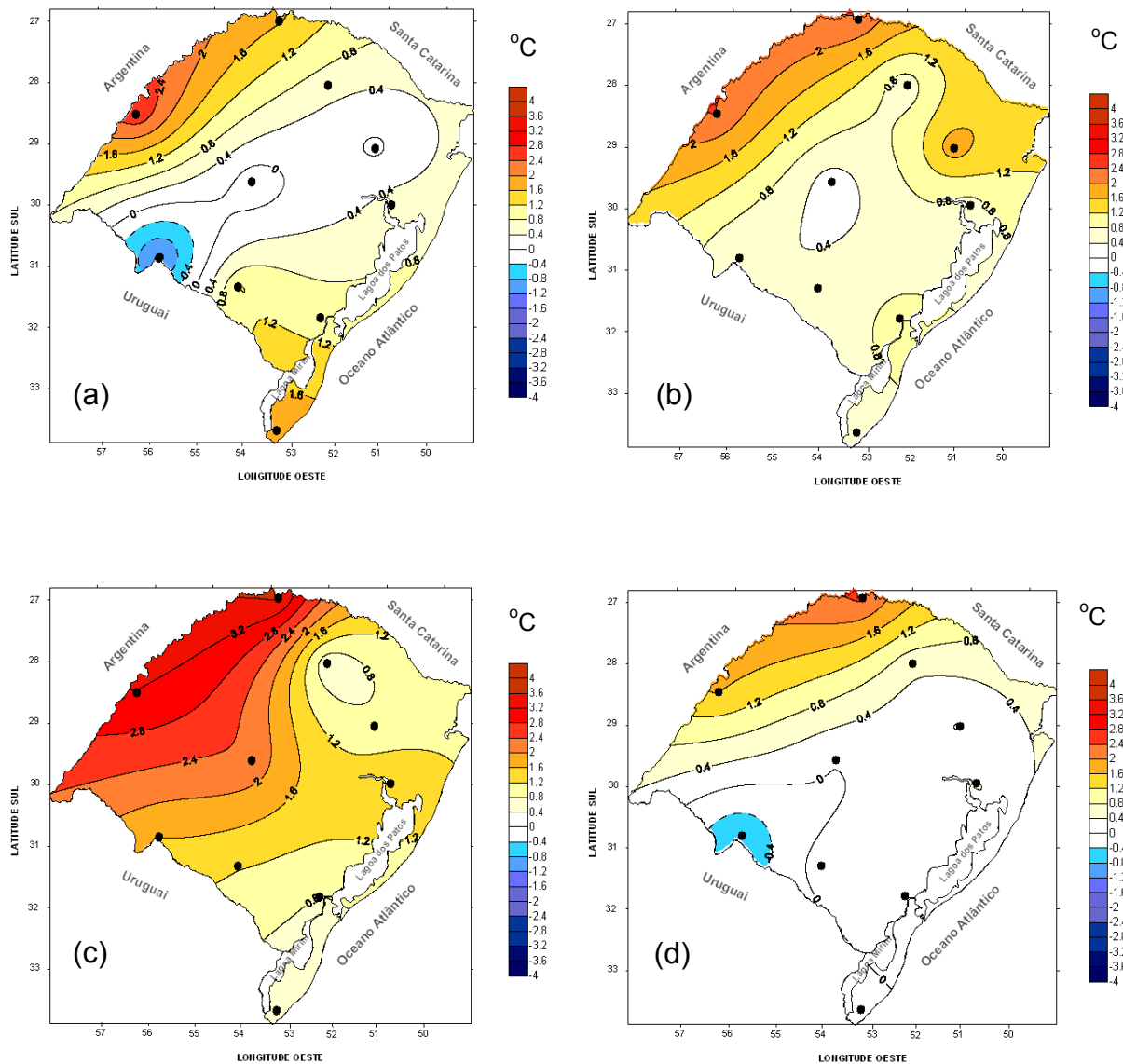


Figura 8 –Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal, em °C, para o período de 1918 a 1947 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

Continuando a análise nos intervalos do período total, considerando agora o período de 1948 a 1977, verifica-se na Fig. 9, que predomina uma tendência negativa em praticamente todas as estações selecionadas, e em todos os meses do estudo, com os maiores valores sendo registrados nos meses de agosto e novembro.

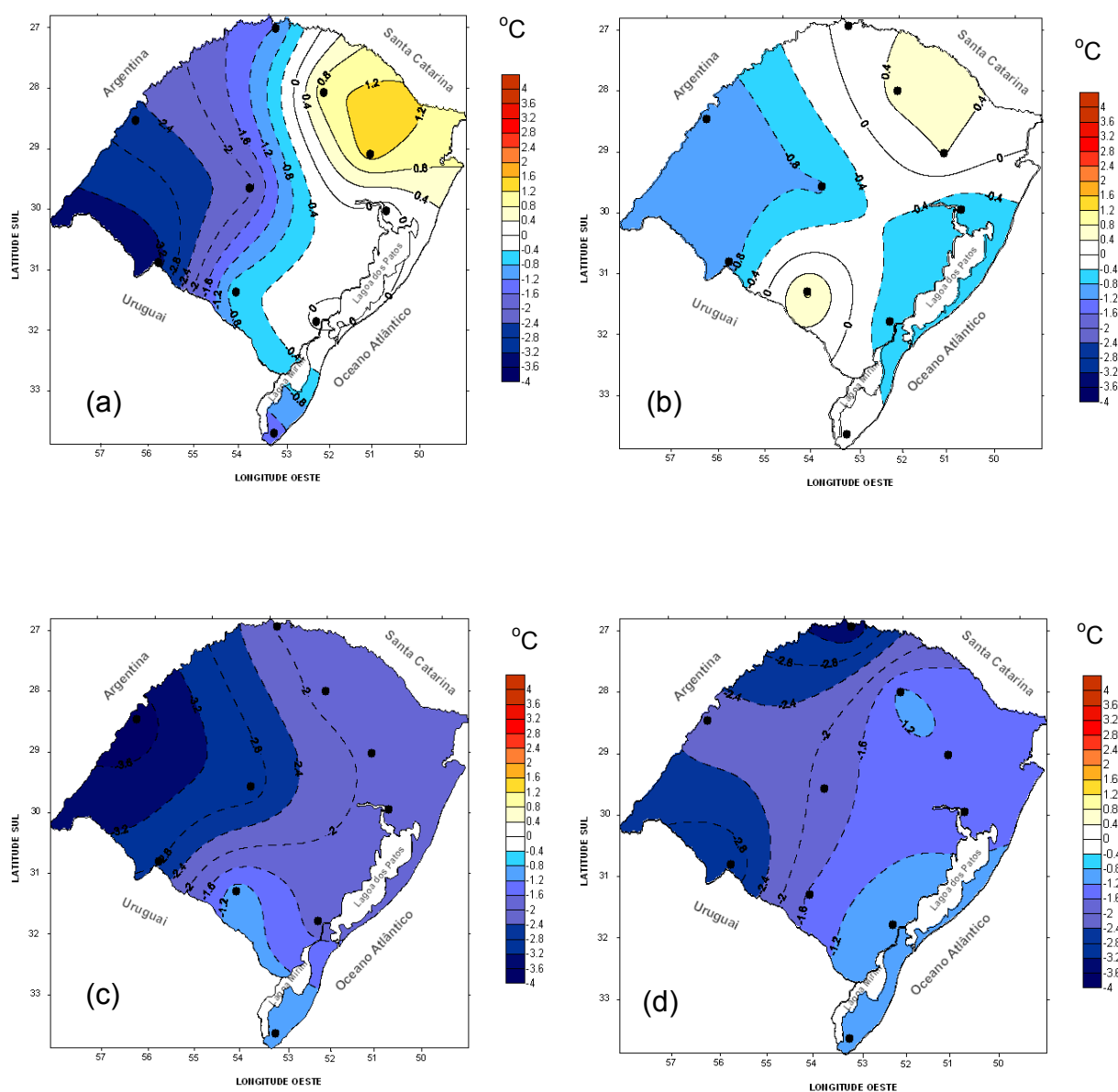


Figura 9.-Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal, em °C, para o período de 1948 a 1977 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

Em relação ao terceiro e último intervalo da série, que corresponde de 1978 a 2007 observa-se na Fig. 10 que não existe uma tendência única nem positiva nem negativa para todos os meses, mas, verifica-se, em praticamente todo o Estado, uma tendência negativa no mês de maio e positiva no mês de agosto.

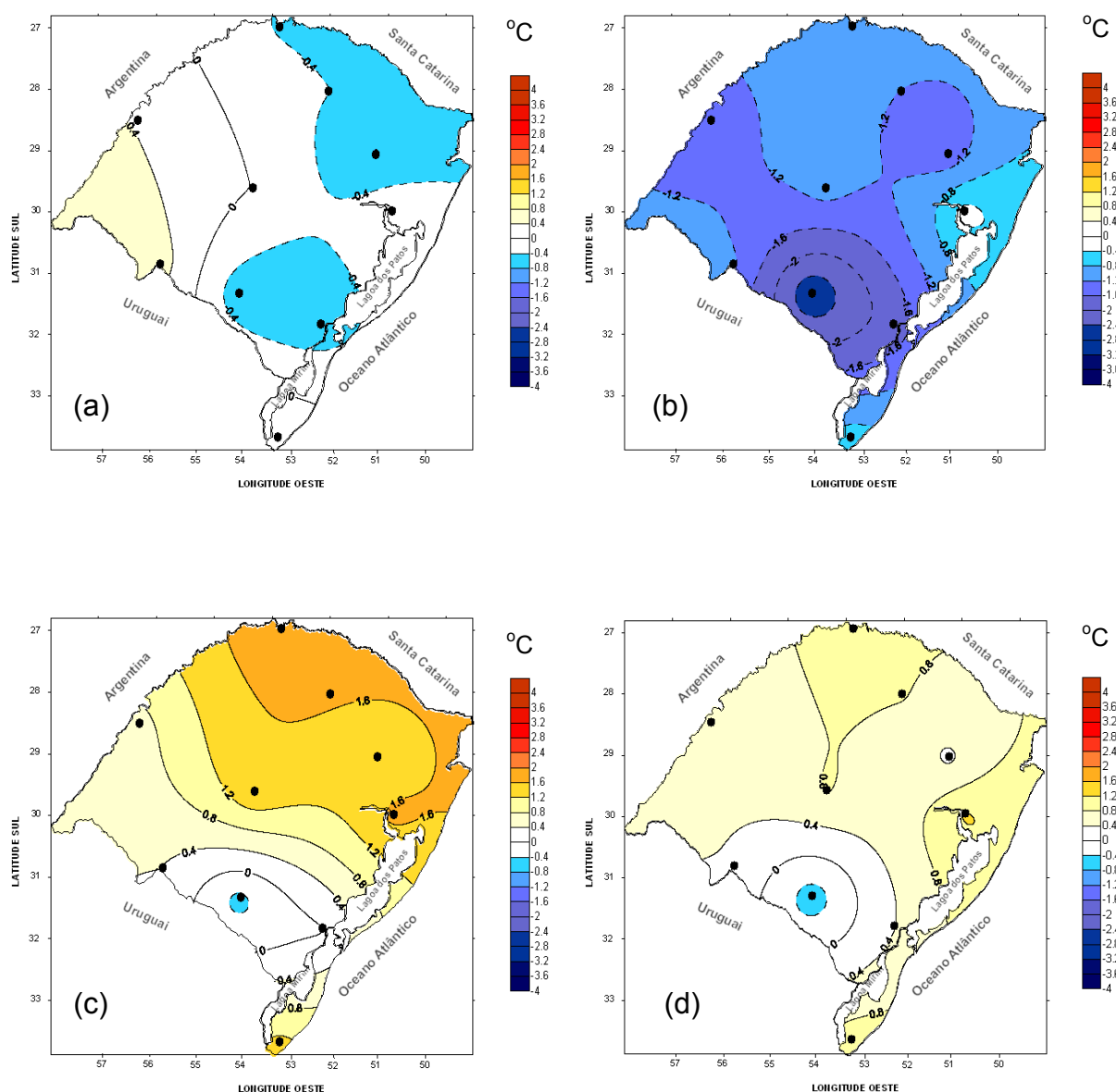


Figura 10.-Visualização espacial da tendência da temperatura máxima média mensal, em °C, para o período de 1978 a 2007 nos meses de (a) fevereiro, (b) maio, (c) agosto e (d) novembro nas estações meteorológicas analisadas.

O estudo da tendência das temperaturas máximas e mínimas médias mensais, em intervalos da série total, permite perceber que não existe uma tendência linear constante, nem de acréscimo nem de redução, ao longo de todo o período, pois a análise separada por intervalos de tempo possibilitou uma verificação dos intervalos em que houve mudança no sinal da tendência.

4.2 Análise harmônica

A metodologia descrita, de aplicação da análise harmônica, foi empregada nos dados de temperatura mínima média mensal e de temperatura máxima média mensal para as cidades de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas. A escolha dessas localidades, se deve ao fato de a estação de Iraí, ser a que mais se destacou com tendências positivas e a estação de Santana do Livramento por estar localizada na região Sudoeste do Estado que foi a região onde se verificou as menores tendências positivas, ocorrendo inclusive predomínio de tendências negativas nas variáveis em estudo. A cidade de Pelotas foi selecionada, por ser o local onde se realizou a pesquisa.

4.2.1 Ajuste dos dados

Os 90 anos de dados (1918 a 2007), foram ajustados para meses de 30 dias, tendo em vista que serão submetidos à análise harmônica.

4.2.2 Análise harmônica das Temperaturas Mínimas Médias Mensais

4.2.2.1 Testes de Normalidade e Homogeneidade das Variâncias

Para verificar a homogeneidade das variâncias, aplicou-se o teste de Cochran, obtendo-se os valores de $C=0,115$, $C=0,131$ e $C=0,108$, respectivamente para as estações de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas. O valor de C tabelado, ao nível de significância de 5% para as 12 variâncias com 89 graus de liberdade cada uma é de 0,125 (Dixon e Massey Jr, 1969).

Verifica-se então, que para as estações de Iraí e Pelotas, o teste foi não significativo ao nível de 5%, ou seja, as variâncias podem ser consideradas homogêneas. Para a estação de Santana do Livramento o teste mostrou-se significativo ao nível de 5%. Desta forma, constatou-se haver necessidade de se proceder a uma transformação dos dados para esta estação. Procurou-se então, uma transformação, que tornasse as variâncias homogêneas. A transformação utilizada foi $Z = 0,1Y^{1,51}$. Após a transformação, o valor de $C=0,131$ passou a $C=0,115$, portanto não significativo.

Para testar a normalidade dos dados, foi aplicado o teste de Shapiro Wilk. Os valores de W_{calc} para os doze meses no período de 90 anos, são apresentados na tab. 10.

Tabela 10 – Valores de W_{calc} para o período de 12 meses, referentes ao teste W dos dados de temperatura mínima média mensal (1918 a 2007) na estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento e (c) Pelotas

(a)	Meses		(b)	Meses		(c)	Meses	
		W_{calc}			W_{calc}			W_{calc}
	Janeiro	0,9839		Janeiro	0,9839		Janeiro	0,9798
	fevereiro	0,9776		fevereiro	0,9823		fevereiro	0,9943
	Março	0,9937		Março	0,9770		Março	0,9830
	Abril	0,9910		Abril	0,9871		Abril	0,9861
	Maio	0,9932		Maio	0,9913		Maio	0,9823
	Junho	0,9923		Junho	0,9754		Junho	0,9885
	Julho	0,9947		Julho	0,9752		Julho	0,9909
	Agosto	0,9950		Agosto	0,9849		Agosto	0,9903
	Setembro	0,9738		Setembro	0,9831		Setembro	0,9691
	Outubro	0,9854		Outubro	0,9840		Outubro	0,9927
	Novembro	0,9783		Novembro	0,9756		Novembro	0,9823
	Dezembro	0,9825		Dezembro	0,9809		Dezembro	0,9750

O valor de W tabelado, ao nível de significância de 5%, é de 0,975 (teste unilateral à esquerda), (Shapiro,1990). Verifica-se, de acordo com a tabela 10, que apenas para o mês de setembro, em Iraí e em Pelotas, o teste foi significativo ao nível de 5%, porém com um valor calculado de 0,974 para Iraí e 0,969 para Pelotas, muito próximos do valor tabelado (0,975) o que nos permitiu considerar estas séries aproximadamente normal.

4.2.2.2 Estacionariedade

A simples análise visual, da representação gráfica das séries em estudo, após os ajustes necessários, mostra, conforme as Fig. 11, 12 e 13 a presença da sazonalidade, que já era esperada, pois em séries climatológicas mensais, este aspecto é extremamente comum, e também uma possível tendência linear positiva. Os modelos de regressão linear estimados confirmaram, com significância estatística, esta suposição, que indica a não estacionariedade das séries.

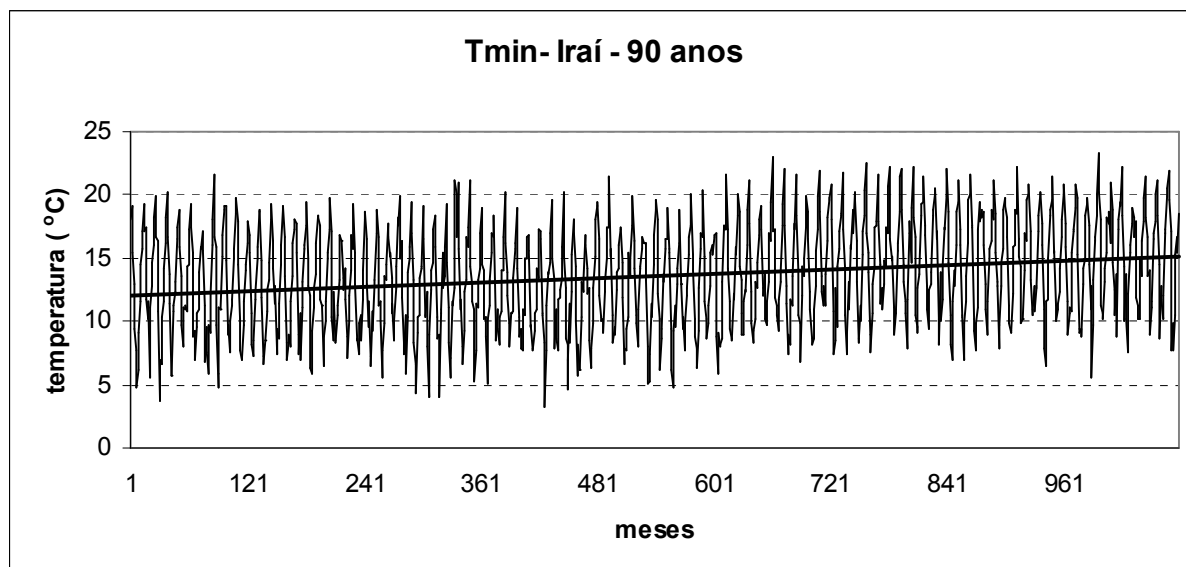


Figura 11: Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Iraí –RS

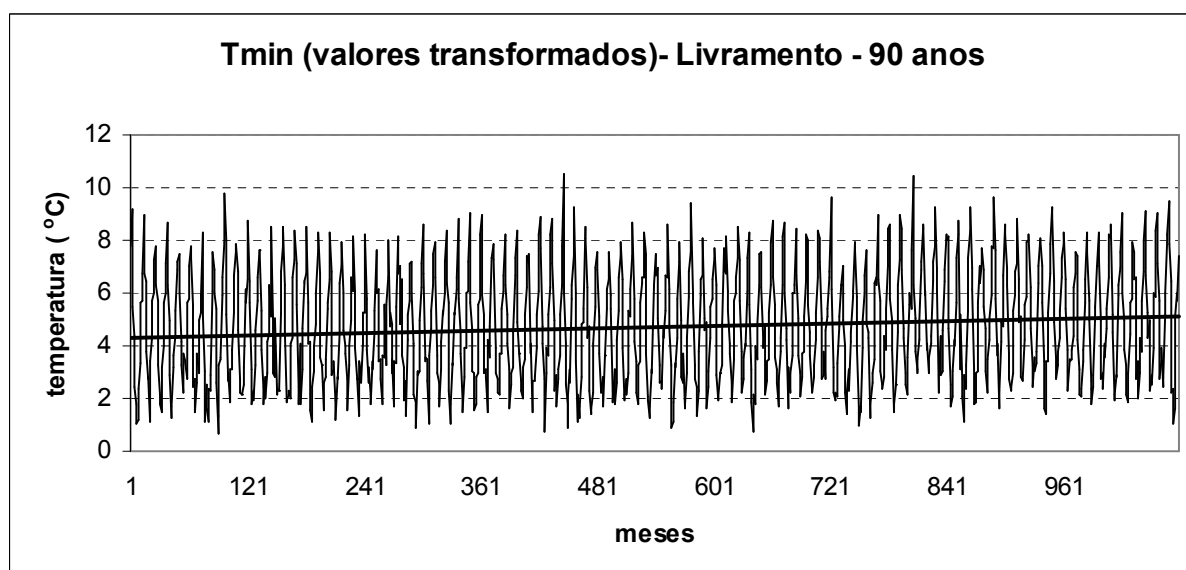


Figura 12: Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Santana do Livramento –RS

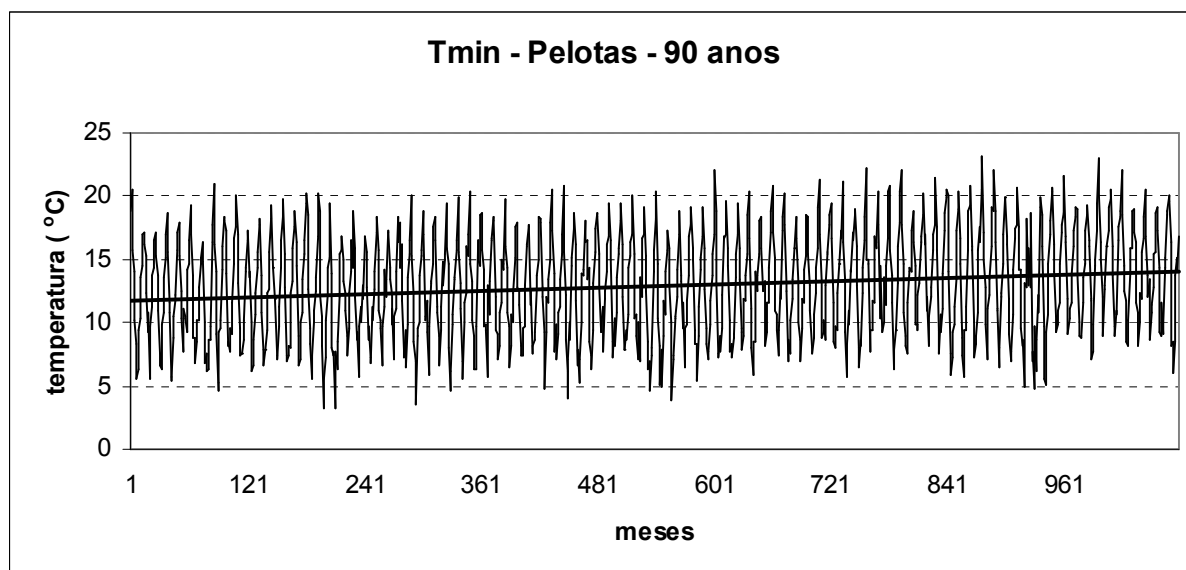


Figura 13: Representação gráfica da série de temperatura mínima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Pelotas –RS

Para a tendência, o grau de significância do coeficiente de regressão **(b)** foi determinado através do teste **t** de Student e foi comparado com o valor crítico de **t** (teste bilateral) com $n-2$ graus de liberdade. O valor crítico de **t** para uma série de 90 anos (1080 dados) no nível de significância de 5% (teste bilateral) é de $\pm 1,96$. Os valores calculados de **t** foram 7,63 para Iraí, 3,33 para Santana do Livramento e 5,30 para Pelotas, portanto altamente significativos. Para eliminar a tendência, foi aplicado o método da regressão. As equações da regressão linear estimada para as três estações selecionadas, foram:

$$\text{a) Iraí} \quad Y = 0,003x + 11,965 \quad (52)$$

$$\text{b) Santana do Livramento} \quad Z = 0,0007x + 4,326 \quad (53)$$

$$\text{c) Pelotas} \quad Y = 0,0021x + 11,752 \quad (54)$$

Os coeficientes angulares em cada equação de regressão linear mostram que em 1080 meses (90 anos) a temperatura mínima média mensal apresentou um acréscimo de $3,24^{\circ}\text{C}$ na estação de Iraí, $0,76^{\circ}\text{C}$ em Santana do Livramento (correspondente a $1,36^{\circ}\text{C}$ nos valores originais) e de $2,27^{\circ}\text{C}$ em Pelotas.

Nas Fig. 14, 15 e 16, apresentam-se as séries ajustadas livre de tendência, portanto estacionárias.

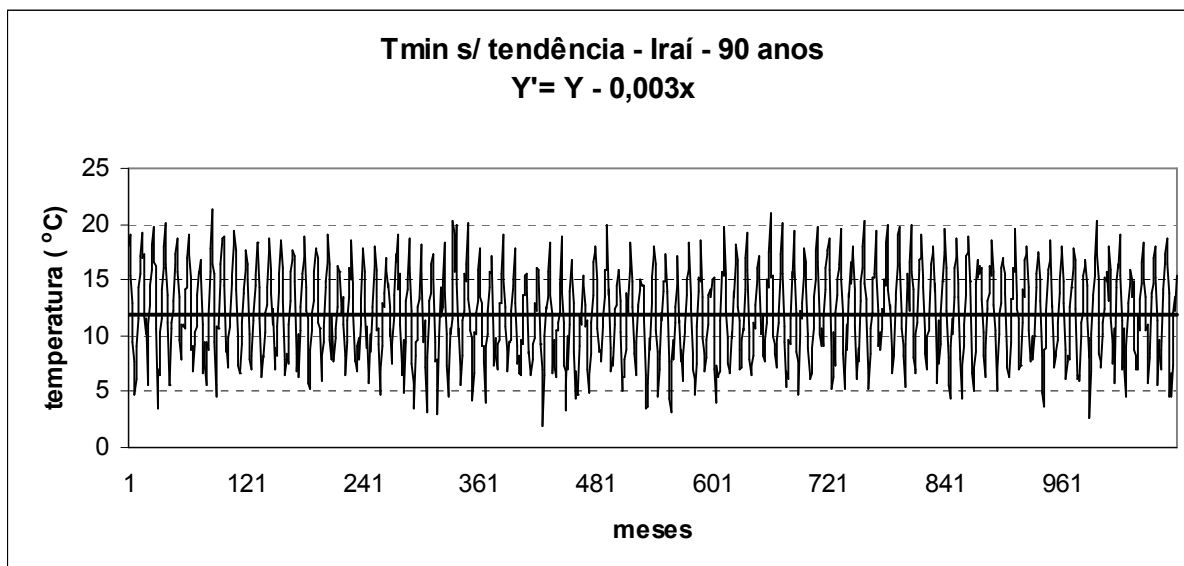


Figura 14: Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007, para a estação de Iraí – RS

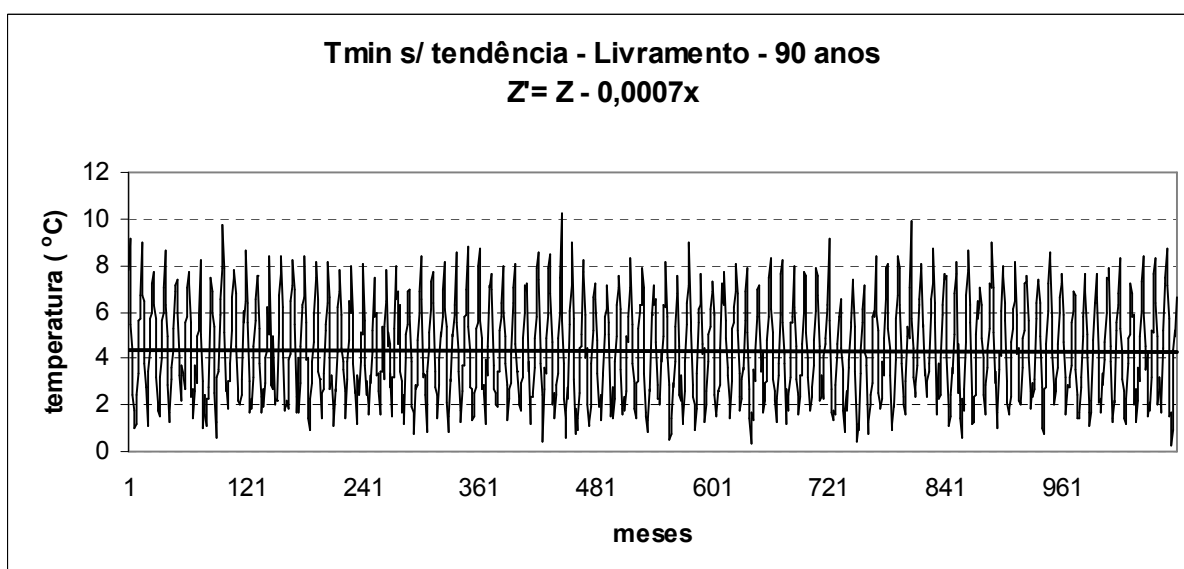


Figura 15: Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007, para a estação de Santana do Livramento – RS. (Dados transformados).

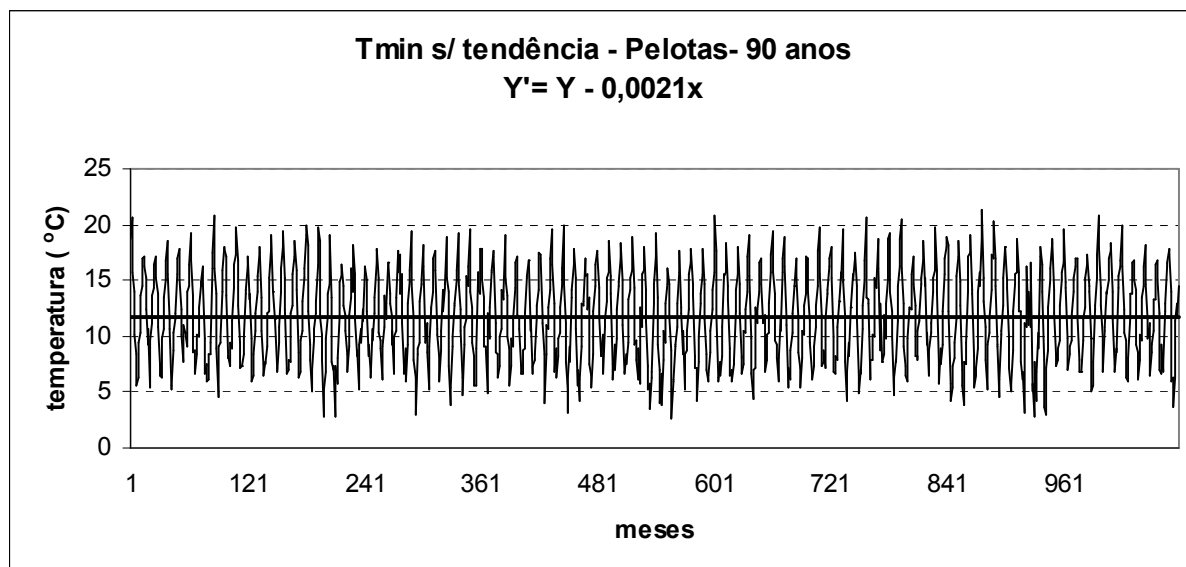


Figura 16: Representação gráfica da série ajustada livre de tendência (estacionária) da temperatura mínima média mensal ($^{\circ}\text{C}$) para o período de 1918 a 2007, para a estação de Pelotas- RS

Resumindo, as atuais séries das temperaturas mínimas médias mensais para o período, apresentam as propriedades de homogeneidade de variâncias, normalidade e estacionariedade, necessárias, segundo Bliss (1958), Amaral (1968), Baptista da Silva (1977), Assis et al. (1996) e Moretin (2004), para a aplicação da análise harmônica.

4.2.2.3 Análise Harmônica

A análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal para o período de 1918 a 2002, apresentadas na tab. 11, foram realizadas conforme descrito no item 3.2.2.6.

Tabela 11 – Médias mensais da temperatura mínima no período de 1918 a 2002, em °C, para a estação de (a) Iraí, (b) Santana do Livramento (valores transformados) e (c) Pelotas.

(a)	Meses		(b)	Meses		(c)	Meses	
		Y'_t			Z'_t			Y'_t
	Janeiro	16,5		Janeiro	7,0		Janeiro	16,5
	Fevereiro	18,2		Fevereiro	7,9		Fevereiro	18,4
	Março	15,2		Março	6,0		Março	15,3
	Abril	12,3		Abril	4,3		Abril	12,4
	Maio	9,0		Maio	2,8		Maio	9,1
	Junho	7,7		Junho	2,1		Junho	7,3
	Julho	6,7		Julho	1,8		Julho	6,5
	Agosto	7,8		Agosto	2,1		Agosto	7,4
	Setembro	9,8		Setembro	2,9		Setembro	9,2
	Outubro	11,5		Outubro	3,8		Outubro	11,1
	Novembro	13,6		Novembro	5,1		Novembro	13,1
	Dezembro	15,0		Dezembro	6,1		Dezembro	14,9

O período fundamental T é de 12 meses e a frequência angular w é igual a $2\pi/T = 0,5236$ e $m = 6$ é a ordem da maior harmônica a ser estimada.

Sendo P_0 a média geral da temperatura mínima média mensal, tem-se que:

Para a Estação de Iraí, $P_0 = \overline{Y'_t} = 11,951$ °C

Para a Estação de Santana do Livramento, $P_0 = \overline{Z'_t} = 4,319$ °C

Para a Estação de Pelotas, $P_0 = \overline{Y'_t} = 11,756$ °C

Os resultados dos cálculos dos parâmetros p_k e q_k , das amplitudes a_k e os valores das frações da variação total explicada por cada harmônica Var_k , para cada estação estudada, são apresentados nas tab. 12, 13 e 14.

Tabela 12 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Iraí –RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	5,027	-0,009	-0,029	-0,216	-0,089	-0,132
Q_k	0,504	0,815	0,380	0,124	0,293	0,000
a_k	5,052	0,815	0,382	0,249	0,307	0,132
Var_k	0,962	0,025	0,005	0,002	0,004	0,001
$Var_k(\text{acum.})$	0,962	0,987	0,993	0,995	0,999	0,999

Tabela 13 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Santana do Livramento –RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	2,723	0,245	-0,016	-0,097	-0,117	-0,063
Q_k	0,368	0,408	0,214	0,128	0,128	0,000
a_k	2,748	0,476	0,214	0,161	0,173	0,063
Var_k	0,957	0,029	0,006	0,003	0,004	0,000
$Var_k(\text{acum.})$	0,957	0,986	0,992	0,995	0,999	1,000

Tabela 14 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura mínima média mensal de Pelotas–RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	5,184	0,014	-0,007	-0,135	-0,168	-0,144
Q_k	0,827	0,837	0,342	0,200	0,204	0,000
a_k	5,250	0,837	0,342	0,241	0,264	0,144
Var_k	0,965	0,025	0,004	0,002	0,002	0,001
$Var_k(\text{acum.})$	0,965	0,990	0,994	0,996	0,999	0,999

4.2.2.4. Modelos

De acordo com as tab. 12, 13 e 14 a primeira harmônica, ou a onda fundamental, de período $T=12$, explica 96% da variação total, porém não é comum ocorrer em Meteorologia modelos construídos de uma única onda (Brooks & Carruthers, 1953, citado por Baptista da Silva 1991). Assim, os modelos para descrever o comportamento da componente determinística, da série temporal das temperaturas mínimas médias mensais, para as estações de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas, foram construídos utilizando-se a primeira e a segunda harmônica, as quais juntas, explicam 99% da variação total dos dados.

Desta forma, as equações dos modelos estimados para um ano médio, serão:

Para a estação de Iraí:

$$Y'_t = 11,951 + 5,027 \cos(0,5236t) + 0,504 \sin(0,5236t) - 0,009 \cos(1,0472t) + 0,815 \sin(1,0472t) \quad (55)$$

Para a estação de Santana do Livramento:

$$Z'_t = 4,319 + 2,723 \cos(0,5236t) + 0,368 \sin(0,5236t) + 0,245 \cos(1,0472t) + 0,408 \sin(1,0472t) \quad (56)$$

Para a estação de Pelotas:

$$Y'_t = 11,756 + 5,184 \cos(0,5236t) + 0,827 \sin(0,5236t) + 0,014 \cos(1,0472t) + 0,837 \sin(1,0472t) \quad (57)$$

Onde:

t = variando de 0 a 11 conforme o mês da previsão (janeiro $t = 0$, fevereiro $t = 1$, março $t = 2$ e, assim, sucessivamente).

Na tentativa de verificar a adequabilidade dos modelos para novos conjuntos de observações, que não participaram de suas estimativas (período de 2003 a 2007), calcularam-se os coeficientes de determinação entre os valores estimados pelos modelos e aqueles observados na média dos últimos 5 anos (série sem tendência). Os coeficientes de determinação, r^2 , foram de 0,93 (Iraí), 0,96 (Livramento) e 0,98 (Pelotas) indicando um bom ajuste dos modelos para a previsão da componente determinística da série temporal.

As tab. 15, 16 e 17 mostram os valores observados (média dos 85 anos) que serviram para a modelagem, os valores estimados pelo modelo e a previsão (média dos últimos 5 anos que não participaram do processo de modelagem). Nas Fig. 17, 18 e 19 estão os gráficos referentes às tabelas.

Tabela15 – Valores médios mensais da temperatura mínima (°C) em Iraí-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão.

Meses	Val.Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	16,5	17,0	16,6
fev.	18,2	17,3	17,8
Mar.	15,2	15,6	15,1
Abr.	12,3	12,5	13,0
maio	9,0	9,2	7,3
jun.	7,7	7,1	9,2
jul.	6,7	6,9	6,6
Ago.	7,8	8,0	6,8
set.	9,8	9,7	10,0
Out.	11,5	11,5	12,7
Nov.	13,6	13,3	13,2
Dez.	15,0	15,3	15,2

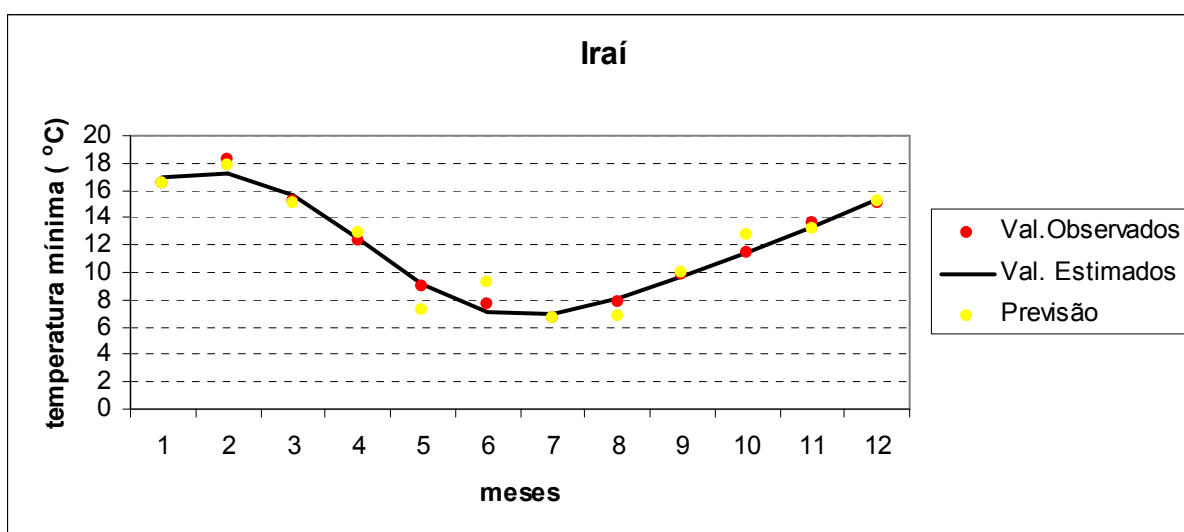


Figura 17 –Valores médios da temperatura mínima média mensal (°C) em Iraí-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).

Tabela16 – Valores médios mensais da temperatura mínima (°C) em Santana do Livramento-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão. Dados transformados.

Meses	Val. Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	7,0	7,3	7,3
fev.	7,9	7,3	8,1
mar.	6,0	6,2	6,1
abr.	4,3	4,4	5,1
maio	2,8	2,8	2,4
jun.	2,1	1,9	2,8
jul.	1,8	1,8	1,5
ago.	2,1	2,3	1,6
set.	2,9	2,9	2,8
out.	3,8	3,7	3,9
nov.	5,1	4,9	5,1
dez.	6,1	6,3	6,0

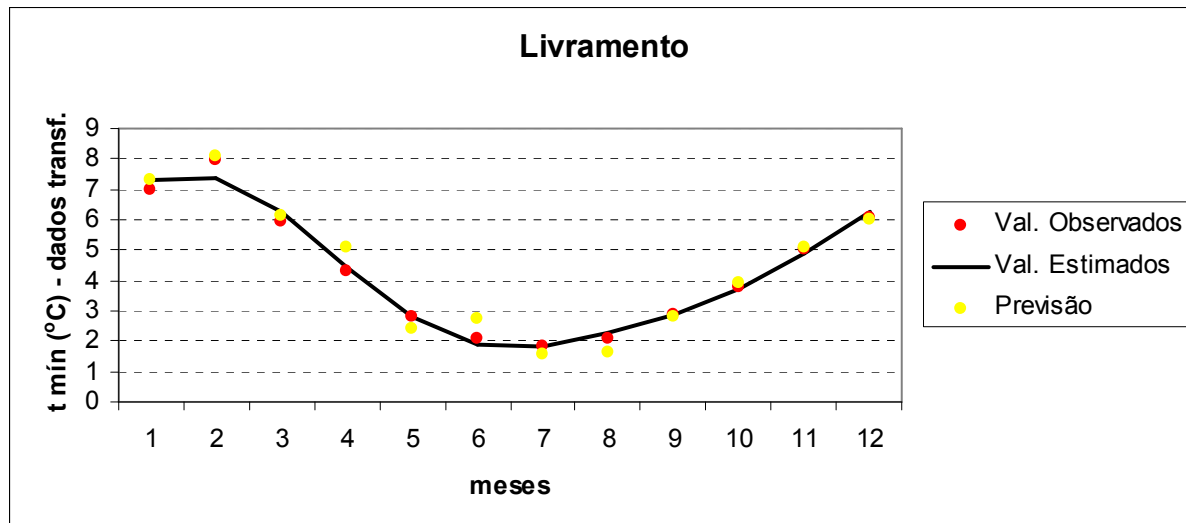


Figura 18 – Valores médios da temperatura mínima média mensal (°C) em Santana do Livramento-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua), e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos). Dados transformados.

Tabela17 – Valores médios mensais da temperatura mínima (°C) em Pelotas-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo, e observados (5 anos) utilizados para a previsão.

Meses	Val. Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	16,5	17,0	16,5
fev.	18,4	17,4	17,9
Mar.	15,3	15,8	15,6
Abr.	12,4	12,6	12,8
maio	9,1	9,1	8,5
jun.	7,3	7,0	8,5
jul.	6,5	6,6	6,4
Ago.	7,4	7,6	7,1
set.	9,2	9,2	9,3
Out.	11,1	10,9	11,4
Nov.	13,1	12,9	13,0
Dez.	14,9	15,1	14,5

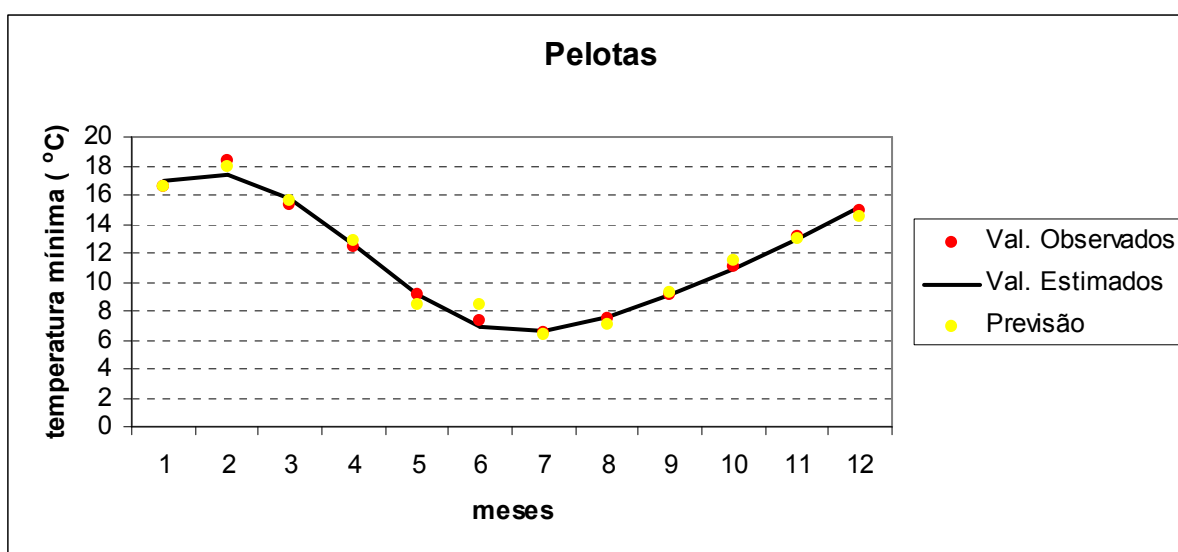


Figura 19 – Valores médios da temperatura mínima média mensal (°C) em Pelotas-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua) e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).

4.2.2.5. Previsões dos Modelos, para os últimos 5 anos, Incluídas as Tendências.

Na versão final dos modelos, conforme a equação 41, acrescentou-se a estimativa da tendência, que fora eliminada dos dados na busca da estacionariedade exigida pela análise harmônica e, realizou-se, quando necessário, a transformação inversa. Assim, as equações dos modelos para as séries temporal da temperatura mínima média mensal, serão:

Para Iraí:

$$Y_t = 11,951 + 5,027 \cos(0,5236t) + 0,504 \sin(0,5236t) - 0,009 \cos(1,0472t) + 0,815 \sin(1,0472t) + 0,003(1020 + h) \quad (58)$$

Para Santana do Livramento:

$$Z_t = 4,319 + 2,723 \cos(0,5236t) + 0,368 \sin(0,5236t) + 0,245 \cos(1,0472t) + 0,408 \sin(1,0472t) + 0,0007(1020 + h) \quad (59)$$

Para Pelotas:

$$Y_t = 11,756 + 5,184 \cos(0,5236t) + 0,827 \sin(0,5236t) + 0,014 \cos(1,0472t) + 0,837 \sin(1,0472t) + 0,0021(1020 + h) \quad (60)$$

Onde:

h = número de meses a frente do modelo (dezembro de 2002 = 1020).

t = variando de 0 a 11 conforme o mês da previsão (janeiro $t = 0$, fevereiro $t = 1$, março $t = 2$ e, assim, sucessivamente).

$$Z_t = 0,1 Y_t^{1,51} \quad (61)$$

Os valores estimados pelos modelos, foram comparados com os valores mensais referentes aos últimos 5 anos (2003 a 2007). (Apêndice C, tab. 18, 19 e 20). Os coeficientes de determinação, r^2 , entre os valores estimados pelos modelos e aqueles observados na média mensal, dos últimos 5 anos, foram de 0,82 (Iraí), 0,84 (Livramento) e 0,87 (Pelotas). Considerando-se que os modelos foram ajustados para um conjunto de dados (1918 a 2002) e que os novos valores observados correspondem a um período distinto daquele (2003 a 2007) pode-se aceitar como muito bom o ajuste dos modelos (previsão).

Nas Fig. 20, 21 e 22 estão os gráficos referente às tabelas do apêndice C, os quais nos permitem verificar que a concordância entre os valores observados e os valores estimados foi bastante satisfatória.

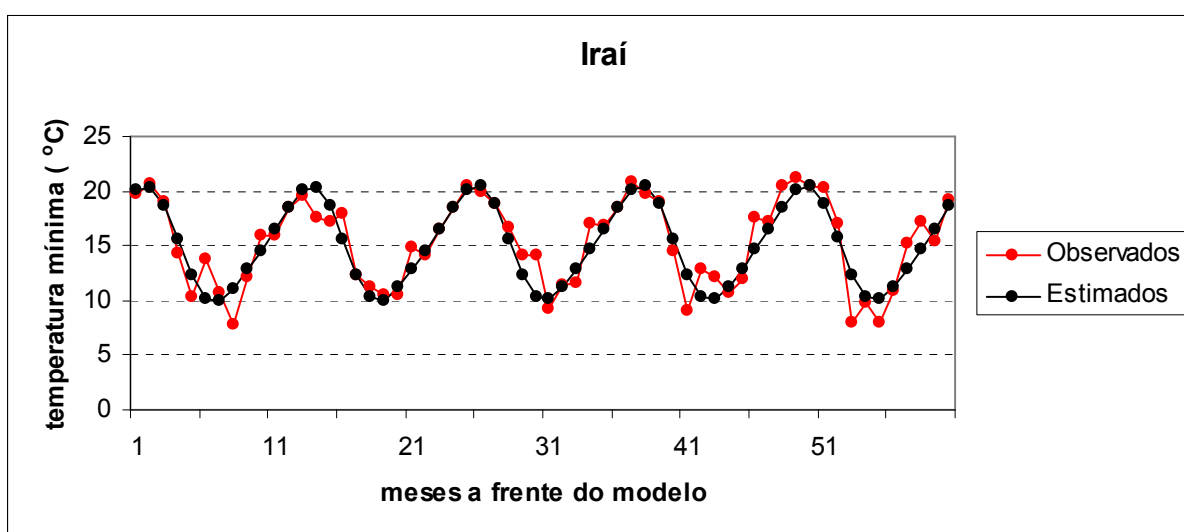


Figura 20- Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais (°C) na estação de Iraí-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.

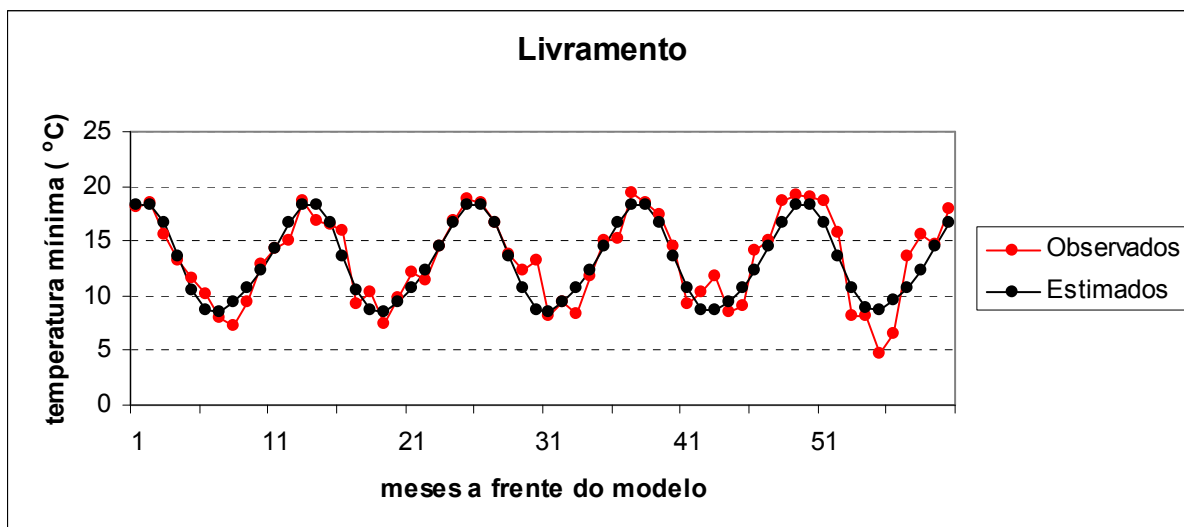


Figura 21- Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais ($^{\circ}\text{C}$) na estação de Santana do Livramento-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.

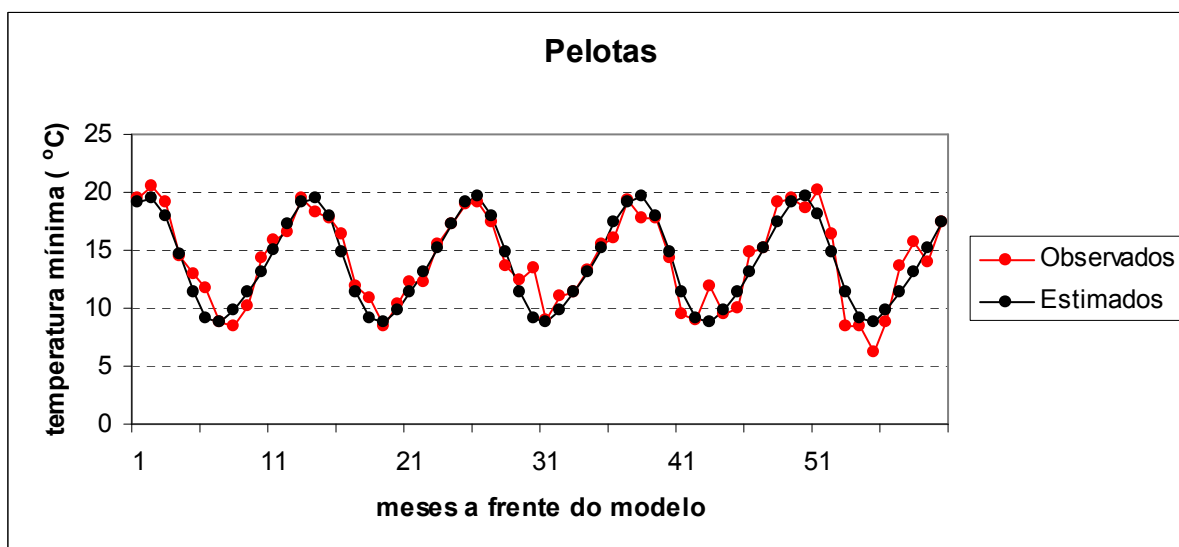


Figura 22- Valores observados das temperaturas mínimas médias mensais ($^{\circ}\text{C}$) na estação de Pelotas-RS (pontos vermelhos) e valores estimados pelo modelo (pontos pretos), para o período de 2003/2007.

De acordo com as Fig. 20, 21 e 22 percebe-se que os maiores desvios entre os valores observados e os valores estimados pelos modelos ocorrem nos meses de maio a agosto (picos inferiores dos gráficos).

Sendo os processos climáticos em grande parte aleatórios, ou seja, o clima é algo que muda continuamente, sob o impacto de várias forçantes físicas, é razoável aceitar como boa a representatividade dos modelos sugeridos pela análise harmônica para descrever o transcurso desta variável.

4.2.2.6 Teste t

Quanto ao desempenho, os modelos foram testados através da estatística “t”, conforme a equação 49.

Os valores calculados do RMSE (root mean square error), do MBE (mean bias error) e do teste t estão indicados na tab. 18. O valor de t tabelado, para 59 graus de liberdade ao nível de 5 % (teste bilateral) é igual a 2,00. Portanto, conclui-se que o valor de t é não significativo, indicando que os modelos se ajustaram adequadamente aos dados observados, podendo ser utilizados na previsão.

Tabela 18 –Valores dos parâmetros RMSE e MBE e do teste t, para as localidades de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas.

	RMSE	MBE	t
IRAÍ	1,644	0,187	0,882
LIVRAMENTO	1,573	0,189	0,928
PELOTAS	1,386	0,202	1,129

4.2.3 Análise Harmônica das Temperaturas Máximas Médias Mensais

4.2.3.1 Testes de Normalidade e Homogeneidade das Variâncias

Pelo teste de Cochran, para a homogeneidade das variâncias, obteve-se os valores de $C=0,111$, $C=0,164$ e $C=0,114$, respectivamente para as estações de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas. Sendo o valor de C tabelado, ao nível de significância de 5% para as 12 variâncias com 89 graus de liberdade cada uma de 0,125 (Dixon e Massey Jr, 1969), verifica-se, que para as estações de Iraí e Pelotas, o teste foi não significativo ao nível de 5%, ou seja, as variâncias podem ser consideradas homogêneas.

Para a estação de Santana do Livramento o teste mostrou-se novamente significativo ao nível de 5%. Desta forma, procedeu-se uma transformação dos dados desta estação. A transformação utilizada foi $Z = Y^{0,5}$. Após a transformação, o valor de $C=0,164$ passou a $C= 0,122$, portanto não significativo.

Pelo teste de Shapiro Wilk, para normalidade, os valores de W_{calc} para os doze meses no período de 90 anos, são apresentados na tab. 19.

Tabela 19 – Valores de W_{calc} para o período de 12 meses, referente ao teste W dos dados de temperatura máxima média mensal (1918 a 2007) na estação de (a)Iraí, (b)Santana do Livramento e (c)Pelotas

	Meses	Wcalc		Meses	Wcalc		Meses	Wcalc
(a)	Janeiro	0,9019	(b)	Janeiro	0,9874	(c)	Janeiro	0,9894
	fevereiro	0,9929		fevereiro	0,9482		Fevereiro	0,9857
	Março	0,9846		Março	0,9913		Março	0,9738
	Abril	0,9239		Abril	0,9822		Abril	0,9855
	Maio	0,9895		Maio	0,9871		Maio	0,9920
	Junho	0,9816		Junho	0,9887		Junho	0,9892
	Julho	0,9899		Julho	0,9916		Julho	0,9871
	Agosto	0,9868		Agosto	0,9920		Agosto	0,9795
	Setembro	0,9930		Setembro	0,9913		Setembro	0,9737
	Outubro	0,9888		Outubro	0,9707		Outubro	0,9897
	Novembro	0,9886		Novembro	0,9938		Novembro	0,9602
	Dezembro	0,9812		Dezembro	0,9861		Dezembro	0,9937

O valor de W tabelado, ao nível de significância de 5%, é de 0,975 (teste unilateral à esquerda) (Shapiro,1990). Verifica-se, de acordo com a tabela 19, que nos meses de janeiro (0,902) e abril (0,924) na estação de Iraí, nos meses de fevereiro (0,948) e outubro(0,971) em Livramento e nos meses de março (0,974), setembro (0,974) e novembro (0,960) em Pelotas o teste foi significativo ao nível de 5%, porém com um valor calculado, muito próximo do valor tabelado (0,975) o que nos permitiu considerar estas séries aproximadamente normal, visto que no mínimo em 75% dos meses a normalidade foi alcançada.

4.2.3.2 Estacionariedade

Nas Fig. 23 e 25 estão representados graficamente os dados originais das estações de Iraí e Pelotas e na Fig. 24 os dados transformados da estação de Santana do Livramento. Uma simples análise visual mostra a presença da sazonalidade, porém não se destaca a componente da tendência linear. Os modelos de regressão linear estimados nos permitem identificar, com significância estatística, a tendência nessa variável, ao longo dos 90 anos de estudo.

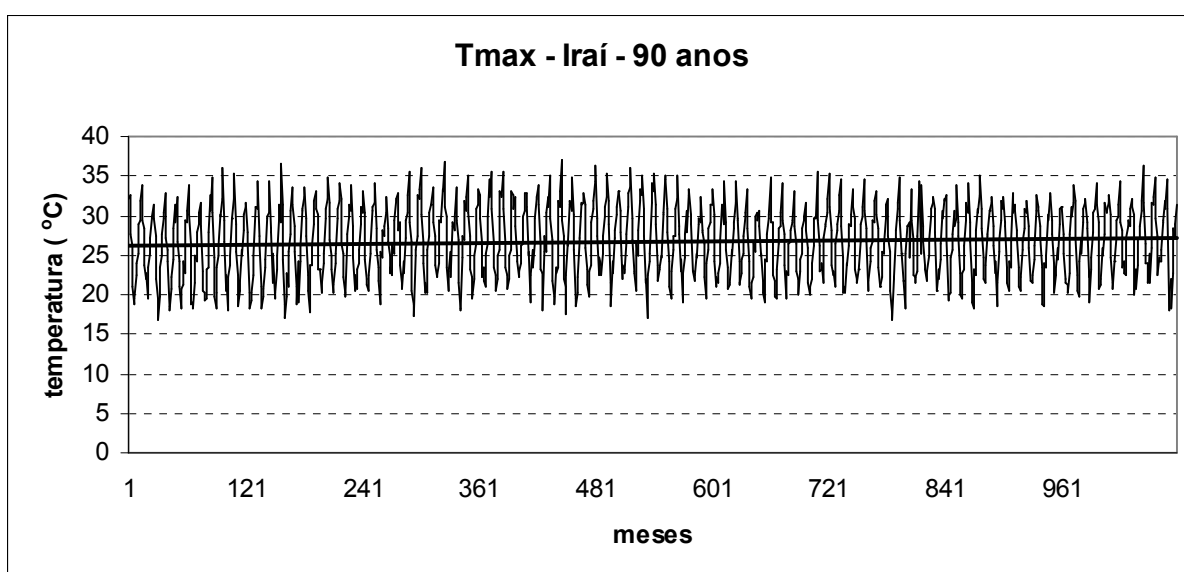


Figura 23: Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Iraí-RS.

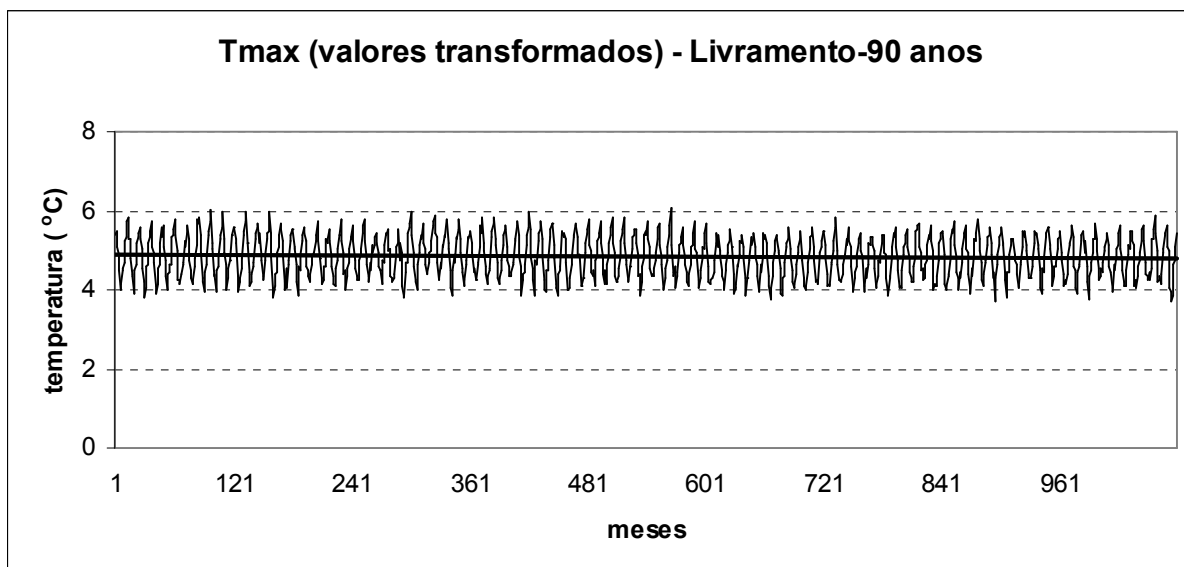


Figura 24: Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Santana do Livramento-RS.

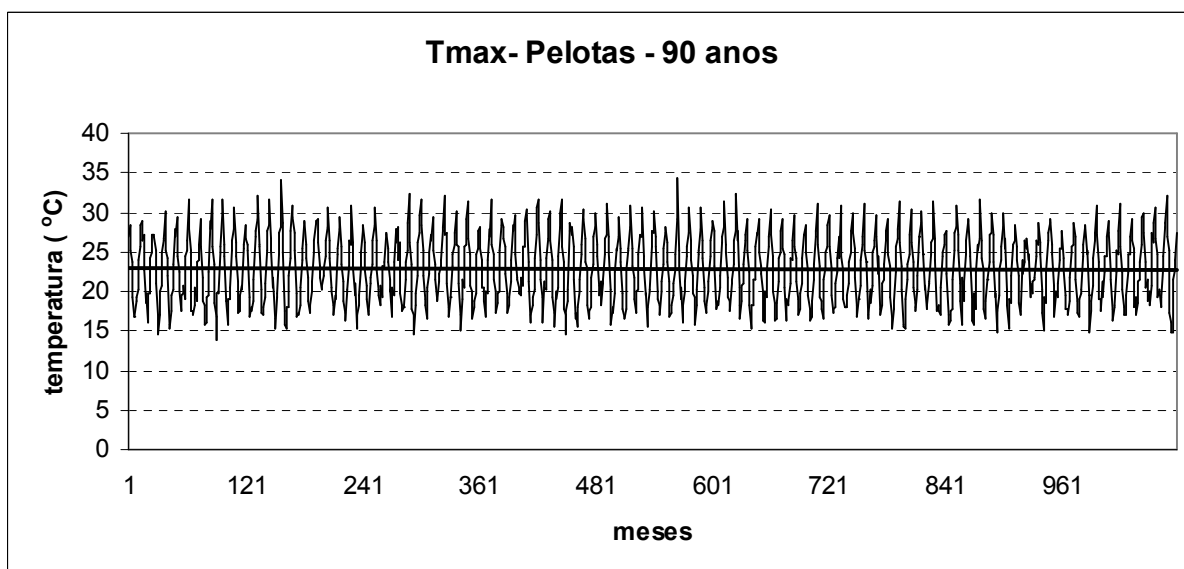


Figura 25: Representação gráfica da série de temperatura máxima média mensal (°C) para o período de 1918 a 2007 na estação de Pelotas-RS.

As equações da regressão linear estimada para as três estações selecionadas, foram

$$\text{a) Iraí} \quad Y = 0,0007x + 26,271 \quad (62)$$

$$\text{b) Livramento} \quad Z = -0,0001x + 4,902 \quad (63)$$

$$\text{c) Pelotas} \quad Y = -0,0001x + 22,862 \quad (64)$$

Para a tendência, o grau de significância do coeficiente **b**, foi determinado através do teste **t** (teste bilateral) e comparado com o valor crítico de **t** ($\pm 1,96$) para uma série de 90 anos no nível de significância de 5%. Os valores calculados de **t** foram 1,68 para Iraí, -2,33 para Santana do Livramento e -0,31 para Pelotas. Portanto, observa-se que para Iraí e Pelotas, os valores encontrados são não significativos. Para Livramento o valor calculado, embora significativo a 5%, encontra-se muito próximo do nível de significância do teste podendo ser aceito também como não significativo. Observa-se também, que o valor da tendência a ser eliminada na estação de Livramento, ao longo dos 90 anos (1080 dados) é de -0,11 °C o que parece ser bastante desprezível, e daí, nos permitir considerar as três localidades como estacionárias.

4.2.3.3 Análise Harmônica

A análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal para o período de 1918 a 2002, apresentadas na tab. 20, foram realizadas conforme descrito no item 3.2.2.6.

Tabela 20 – Médias mensais da temperatura máxima no período de 1918 a 2002, em °C, para a estação (a) Iraí, (b) Santana do Livramento (valores transformados) e (c) Pelotas.

(a)	Meses		(b)	Meses		(c)	Meses	
		Y_t			Z_t			Y_t
	Janeiro	31,3		Janeiro	5,5		Janeiro	27,7
	Fevereiro	33,7		Fevereiro	5,6		Fevereiro	30,0
	Março	29,6		Março	5,2		Março	26,1
	Abril	26,8		Abril	4,9		Abril	24,1
	Mai	22,6		Mai	4,5		Mai	20,3
	Junho	21,1		Junho	4,2		Junho	18,3
	Julho	20,5		Julho	4,1		Julho	17,1
	Agosto	22,5		Agosto	4,3		Agosto	18,2
	Setembro	24,7		Setembro	4,6		Setembro	19,7
	Outubro	26,3		Outubro	4,8		Outubro	21,2
	Novembro	29,7		Novembro	5,2		Novembro	24,5
	Dezembro	30,7		Dezembro	5,3		Dezembro	26,3

O período fundamental T é de 12 meses e a frequência angular w é igual a $2\pi/T = 0,5236$ e $m = 6$ é a ordem da maior harmônica a ser estimada.

Sendo P_0 a média geral da temperatura máxima média mensal, tem-se que:

Para a Estação de Iraí, $P_0 = \bar{Y}_t = 26,632$ °C

Para a Estação de Santana do Livramento, $P_0 = \bar{Z}_t = 4,840$ °C

Para a Estação de Pelotas, $P_0 = \bar{Y}_t = 22,778$ °C

Os resultados dos cálculos dos parâmetros p_k e q_k , das amplitudes a_k e os valores das frações da variação total explicada por cada harmônica Var_k , são apresentados nas tab. 21, 22 e 23.

Tabela 21 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Iraí-RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	5,807	-0,100	-0,214	-0,396	-0,208	-0,216
Q_k	-0,118	0,925	0,169	0,344	0,531	0,000
a_k	5,808	0,931	0,273	0,525	0,570	0,216
Var_k	0,954	0,024	0,002	0,008	0,009	0,001
$Var_k(\text{acum.})$	0,954	0,978	0,980	0,988	0,997	0,999

Tabela 22 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Santana do Livramento–RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	0,686	-0,007	0,005	-0,033	-0,022	-0,018
Q_k	0,029	0,072	0,005	0,043	0,047	0,000
a_k	0,686	0,072	0,007	0,054	0,052	0,018
Var_k	0,976	0,011	0,000	0,006	0,006	0,001
$Var_k(\text{acum.})$	0,976	0,987	0,987	0,993	0,999	0,999

Tabela 23 – Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica das médias da temperatura máxima média mensal de Pelotas–RS, período de 1918 a 2002.

k =	1	2	3	4	5	6
P_k	5,508	0,084	-0,020	-0,274	-0,206	-0,207
Q_k	1,119	0,660	0,143	0,377	0,476	0,000
a_k	5,621	0,665	0,145	0,466	0,519	0,207
Var_k	0,968	0,014	0,001	0,007	0,008	0,001
$Var_k(\text{acum.})$	0,968	0,982	0,982	0,989	0,997	0,999

4.2.3.4 Modelos

De acordo com as tab. 21, 22 e 23 a primeira harmônica, ou a onda fundamental, de período $T=12$, explica mais de 96% da variação total, porém os modelos foram feitos utilizando-se a primeira e a segunda harmônica, procedimento indicado por Brooks & Carruthers (1953 citado por BAPTISTA DA SILVA, 1991).

Desta forma, as equações dos modelos estimados para um ano médio serão:

Para a estação de Iraí:

$$Y_t = 26,632 + 5,807\cos(0,5236t) - 0,118\sin(0,5236t) - 0,100\cos(1,0472t) + 0,925\sin(1,0472t) \quad (65)$$

Para a estação de Santana do Livramento:

$$Z_t = 4,840 + 0,686 \cos (0,5236t) + 0,029 \sin (0,5236t) - 0,007 \cos (1,0472t) + 0,072 \sin (1,0472t) \quad (66)$$

Onde

$$Z_t = Y_t^{0,5} \quad (67)$$

Para a estação de Pelotas:

$$Y_t = 22,778 + 5,508 \cos (0,5236t) + 1,119 \sin (0,5236t) + 0,084 \cos (1,0472t) + 0,660 \sin (1,0472t) \quad (68)$$

As tab. 24, 25 e 26 mostram os valores observados (média dos 85 anos) que serviram para a modelagem, os valores estimados pelo modelo e a previsão, média dos últimos 5 anos (2003 a 2007), que não participaram do processo de modelagem. Nas Fig. 26, 27 e 28 estão os gráficos referentes às tabelas.

O coeficiente de determinação, r^2 , indicando a parte da variação entre os dados da previsão (média dos últimos 5 anos) explicada pelo modelo, foi de 0,93 (irai), 0,98 (Livramento) e 0,97 (Pelotas). Considerando-se que o modelo foi ajustado para um conjunto de dados (1918 a 2002) e que os novos valores observados corresponde a um período distinto daquele (2003 a 2007), pode-se aceitar como muito boa esta representatividade do modelo (> 90%) para um ano médio.

Tabela 24 – Valores médios mensais da temperatura máxima (°C) em Iraí-RS. Valores, observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão.

Meses	Val.Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	31,3	32,3	31,5
fev.	33,7	32,4	34,4
Mar.	29,6	30,3	30,4
Abr.	26,8	26,6	26,0
maio	22,6	22,9	22,0
jun.	21,1	20,7	23,6
jul.	20,5	20,7	21,4
Ago.	22,5	22,4	23,7
set.	24,7	24,7	25,9
Out.	26,3	26,9	27,6
Nov.	29,7	28,9	29,6
Dez.	30,7	30,9	30,8

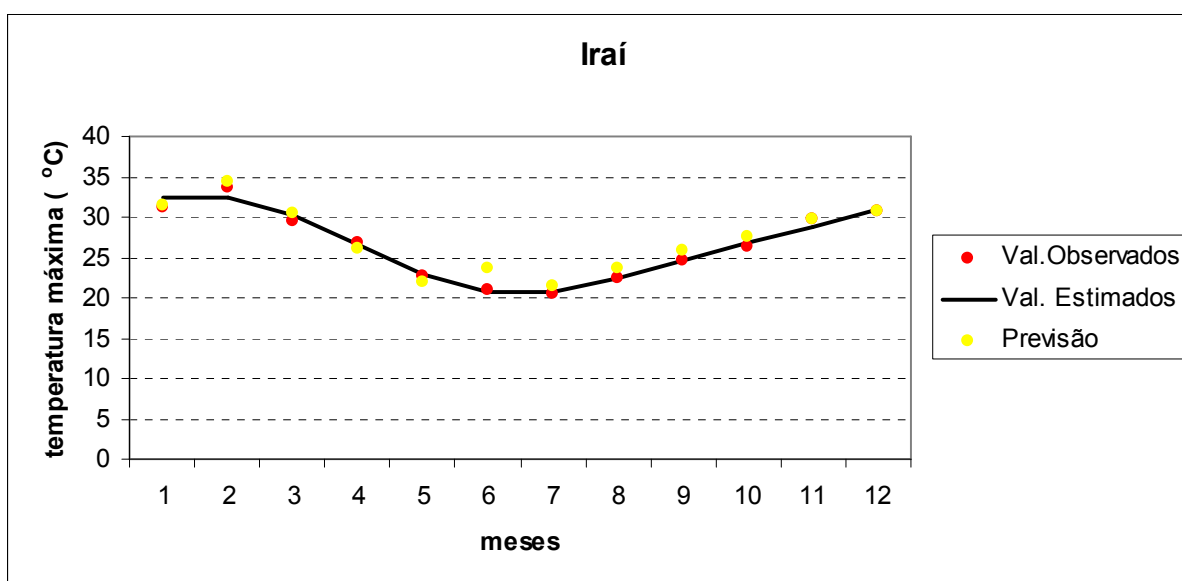


Figura 26 – Valores médios da temperatura máxima média mensal (°C), em Iraí-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua), e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).

De acordo com a tab. 24 e Fig. 26, observa-se que para a estação de Iraí, a maior discrepância entre o valor estimado pelo modelo e a média dos últimos 5 anos, é verificada no mês de junho onde o modelo estima para a média mensal da temperatura máxima um valor menor em 2,9°C que a média registrada nesta estação.

Tabela 25 – Valores médios mensais da temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) em Santana do Livramento-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão. Dados transformados.

meses	Val. Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	5,5	5,5	5,5
fev.	5,6	5,5	5,6
mar.	5,2	5,3	5,2
abr.	4,9	4,9	4,9
maio	4,5	4,5	4,3
jun.	4,2	4,2	4,2
jul.	4,1	4,1	4,1
ago.	4,3	4,3	4,2
set.	4,6	4,5	4,5
out.	4,8	4,8	4,8
nov.	5,2	5,1	5,1
dez.	5,3	5,4	5,3

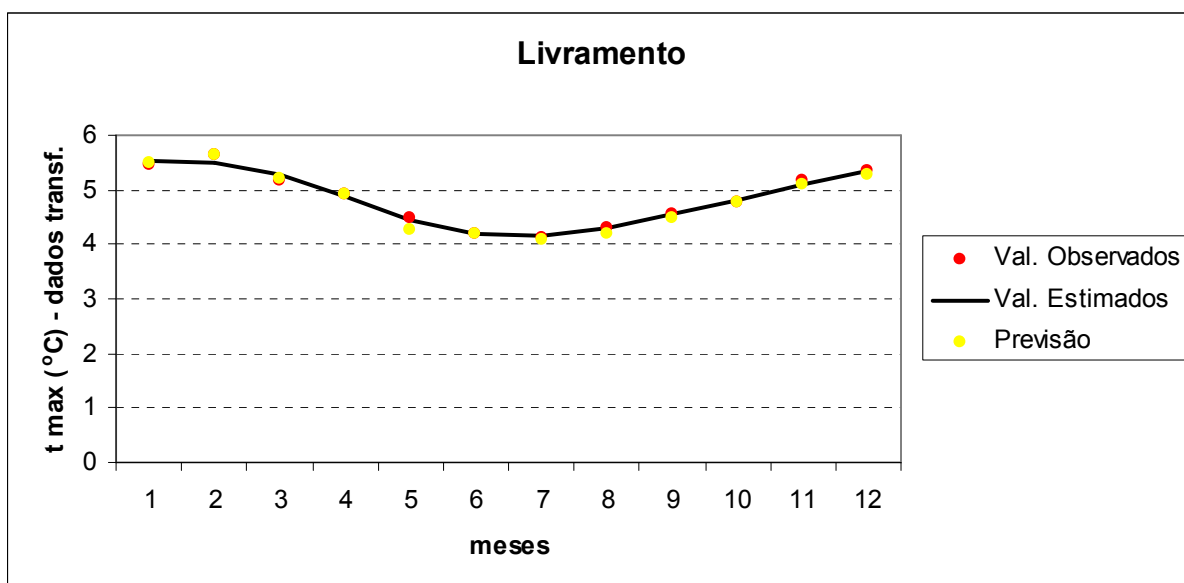


Figura 27 – Valores médios da temperatura máxima média mensal ($^{\circ}\text{C}$), em Santana do Livramento-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua), e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos). Dados transformados.

Para a estação de Santana do Livramento, observa-se, conforme a tab. 25 e Fig. 27, que os valores estimados pelo modelo matemático estão de acordo com a média dos últimos 5 anos, indicando um bom desempenho do modelo como diagnóstico do comportamento das médias das temperaturas máximas.

Tabela 26 – Valores médios mensais da temperatura máxima (°C) em Pelotas-RS. Valores observados (85 anos) utilizados para a modelagem, estimados pelo modelo e observados (5 anos) utilizados para a previsão.

meses	Val. Observados	Val. Estimados	Previsão
jan.	27,7	28,4	28,2
fev.	30,0	28,7	30,6
Mar.	26,1	27,0	26,6
Abr.	24,1	23,8	24,3
maio	20,3	20,4	19,1
jun.	18,3	18,0	19,0
jul.	17,1	17,4	17,5
Ago.	18,2	18,1	17,7
set.	19,7	19,6	19,9
Out.	21,2	21,6	22,1
Nov.	24,5	24,0	24,9
Dez.	26,3	26,5	26,5

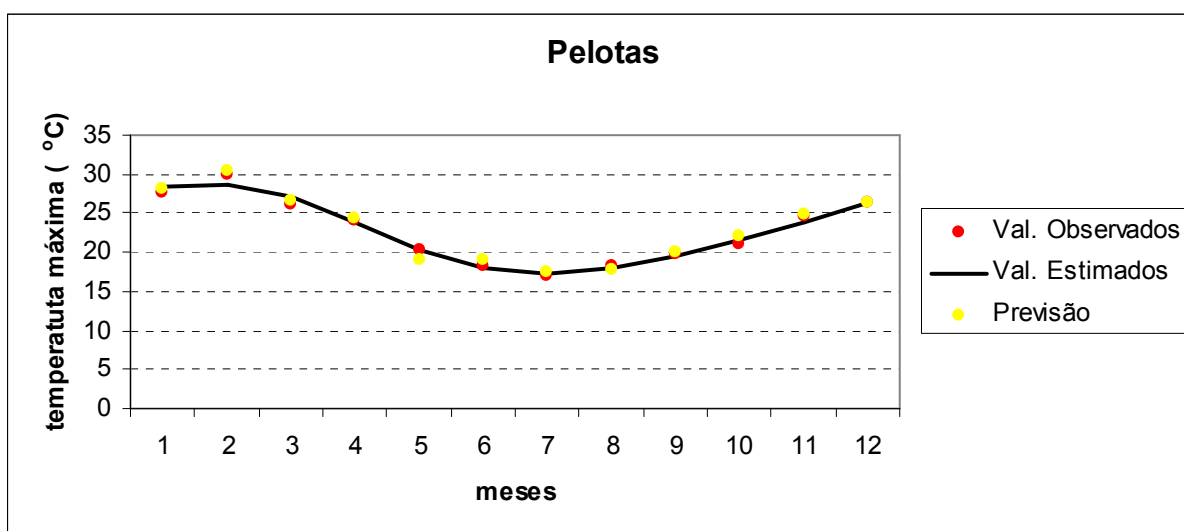


FIGURA 28 – Valores médios da temperatura máxima média mensal (°C), em Pelotas-RS, para o período de 1918 a 2002, que serviram para a modelagem (pontos vermelhos), valores estimados pelo modelo (linha contínua), e valores médios para o período de 2003 a 2007 (pontos amarelos).

A tab. 26 e Fig. 28, mostram a concordância entre os valores estimados pelo modelo para a temperatura máxima média mensal e a média dos últimos 5 anos, na estação de Pelotas, verificando-se um pequeno desvio entre esses valores apenas nos meses de fevereiro e maio.

4.2.3.5 Teste t

Quanto ao desempenho os modelos foram testados através da estatística “t”, conforme a equação 49.

Os valores calculados do RMSE (root mean square error), MBE (mean bias error) e do teste **t** estão indicados na tab. 27. O valor de **t** tabelado, para 11 graus de liberdade ao nível de 5 % (teste bilateral) é igual a 2,20. Portanto, conclui-se que o valor de **t** é não significativo, indicando que os modelos se ajustaram adequadamente aos dados observados, podendo ser utilizados na previsão.

Tabela 27 –Valores dos parâmetros RMSE e MBE e do teste t, para as localidades de Iraí, Livramento e Pelotas

	RMSE	MBE	t
IRAÍ	1,267	-0,624	1,88
LIVRAMENTO	0,092	0,042	1,67
PELOTAS	0,809	-0,250	1,08

5 CONCLUSÕES

A partir das análises feitas neste trabalho, de acordo com os objetivos propostos, podemos concluir que a temperatura mínima média mensal, durante os noventa anos de observação, mostra claramente uma tendência linearmente crescente, em todos os meses analisados, porém nas análises feitas em períodos de 30 anos, fica evidenciado que nos últimos 30 anos a tendência da temperatura mínima média mensal aponta para valores neutros ou negativos, sendo que os valores negativos são mais expressivos e abrangentes nos meses de fevereiro e maio.

Em relação ao comportamento da temperatura máxima média mensal, ao contrário da temperatura mínima, verifica-se tendências predominantemente negativas ao longo dos 90 anos, exceto no mês de agosto, onde ocorre tendências positivas no norte e sul do Estado. Para os últimos 30 anos de observação verifica-se predomínio de tendência linear crescente nos meses de agosto e novembro e predomínio de tendência decrescente nos meses de fevereiro e maio.

As tendências apresentadas no período total (90 anos) não foram constatadas nos períodos divididos da série (30 anos), o que demonstra a necessidade de avaliações, considerando períodos mais curtos de tempo, a fim de captar padrões encobertos por análises de séries de dados mais longas.

A análise harmônica, das temperaturas máximas e mínimas médias mensais, dos últimos 85 anos, para as estações escolhidas de Iraí, Santana do Livramento e Pelotas, permite afirmar que o primeiro harmônico é o mais importante,

na explicação da variação total dos dados, com máximo (verão) e mínimo (inverno) bem definidos. Freqüências maiores do que as do primeiro harmônico pouco contribuem para a variação das temperaturas. Embora a alta representatividade da onda anual, optou-se por manter duas ondas nos modelos, de modo a atender a recomendação de alguns autores.

Os modelos propostos pela análise harmônica podem ser considerados como adequados para representar a variação entre os dados mensais de temperaturas mínimas e máximas e, também, como um previsor confiável do comportamento médio destas variáveis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. O. Os climas. In: **Brasil, a terra e o homem**, Azevedo, A. (Ed) São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972, v.1, p.398-462.

ALONSO, M.; FINN, E.J. **Física um Curso Universitário**. São Paulo. Edgard Blucher Ltda, tradução Mario Guimarães, Darwin Bassi Mituo Uehara e Alvimar A. Bernardes, 1972, 487p.

.AMALDI, Ugo. **Imagens da Física**. São Paulo. Scipione Ltda., tradução Fernando Trotta, 1995. 540p.

AMARAL, Edilberto. Análise harmônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro - RJ, n.3, p.7-43, 1968.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatísticas à climatologia – Teoria e Prática**. Pelotas – RS: Editora Universitária, 1996. 191p.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.36, n.5. p.717-726, 2001.

BAPTISTA DA SILVA, João. **Análise harmônica das precipitações pluviométricas pentadais (Pelotas-RS, 1900/51)**. 1977. 216f. Tese de Livre Docência, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BAPTISTA DA SILVA, João; FERNANDES, A. M. Análise harmônica das temperaturas mínimas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol 6(1), p.455-470, 1991.

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

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

FERRAZ, M .I. F. **Uso de Modelos de Séries Temporais na Previsão da Série de Precipitações Pluviais Mensais no Município de Lavras - MG**, Lavras - MG. 1999. 97f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 1999.

HALLAL, M. O. C. **Análise da variabilidade de indicadores climáticos para a precipitação pluvial no Rio Grande do Sul**. Pelotas-RS. 2007. 122f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, 2007.

ICHIBA, S.H.K. **Estudo das temperaturas do ar no estado do Paraná**. Maringá-PR, 2006, 124f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências humanas, Letras e Artes, 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis IPCC WG I, TAR**. Cambridge: Cambridge Univ. Press., p.881, 2001.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. **Climate change 2007: The Physical Scientific Basis, Summary for Policy Makers**. IPCC, Genebra, 2007.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n.1, p.1-18, 2001.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA: 2006.

MARQUES, Julio R.; DINIZ, Gilberto 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: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracaju –SE.

MEZZOMO, D. **Análise da temperatura média mínima mensal numa região homogênea do estado do Rio Grande do Sul que contém a estação meteorológica de Pelotas**. Pelotas-RS. 2004. 79f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, 2004.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: Fato ou Ficção?. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v.16, n.1, p.8-11, 2001.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secção de Geografia. Secretária da Agricultura. Porto Alegre, 1961. 42p.

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

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 421p.

QUEIROZ, Emilson F.; REINALDO J.B.; OLIVEIRA, Maria C.N. Modelo de análise de regressão periódica da precipitação mensal, da bacia atlântico sudeste, no Estado

do Paraná.: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.36, n.5, p.727-742, mai. 2001.

RIBEIRO,D .S. **Análise Harmônica da Radiação Solar Global Mensal em Pelotas -RS**. Pelotas-RS, 2003, 68f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, 2003.

SHAPIRO, S. S. **How to test Normality and other Distributional Assumptions**. V.3 ASQC Quality Press, 92p, 1990.

SILVEIRA, Virginia Piccinini; GAN, Manoel Alonso. Estudo de tendência das temperaturas mínimas da Região Sul do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA – (CBMET), Nov.27 – 01 Dec, Florianópolis, SC, 2006.

STEINMETZ, S.,SIQUEIRA,O .J. W. DE,WREGE, M. S.,HERTER,F.,REISSER JÚNIOR,C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. 4, 2005, Santa Maria. **Anais do...** Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 2005. P.247-250.

STEINKE, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudanças climáticas no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. 201f. Tese (Doutorado em Ecologia)- Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.

SPIEGEL, MURRAY R. **Estatística**. São Paulo: MacGraw-Hill do Brasil, tradução de Pedro Cosentino, 1976. 580p.

THOMAS, G. B. **Calculus and Analytic Geometry**, 3^o ed. Addison-Wesley, Reading, Mass, 1962. 821p.

TOGRUL, I. T., TOGRUL,H., Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. **Renewable Energy**, Turkey, v.25, p.55-67, 2002.

TURKES, M.; SUMER, U. K.; KILIÇ, G. Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. **International Journal of Climatology**. Chischester, v. 16, n.4, p.463-477, 1996.

WREGE, M. S, HERTER, F. G., STEINMETZ, S.,REISSER JUNIOR, C., GARRASTAZU, M.C.,MATZENAUER,R., Influência do aquecimento regional sobre a fruticultura de clima temperado no extremo sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007. Aracajú-SE.

Apêndices

Apêndice A

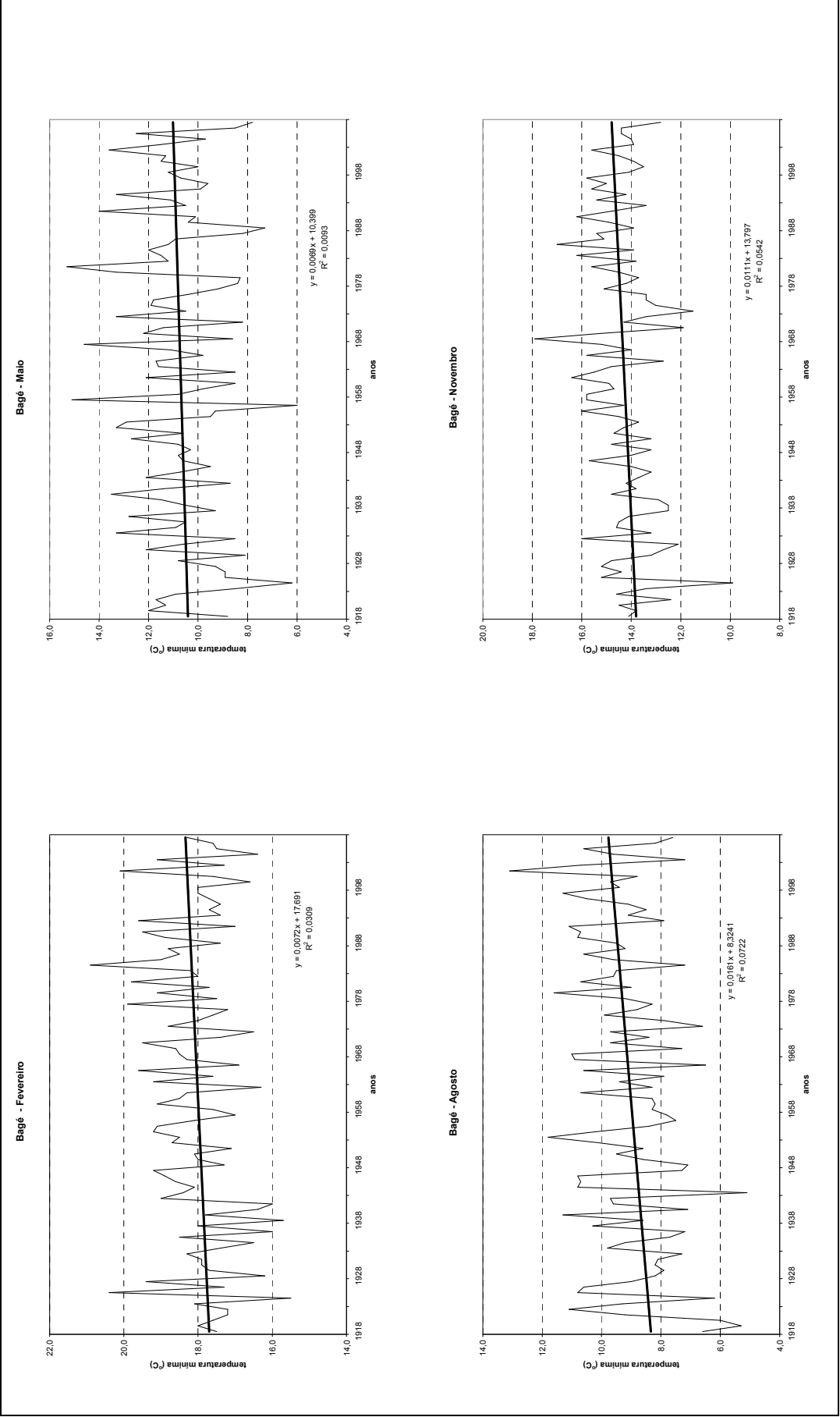


Figura 1 – Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Bagé, de 1918 a 2007.

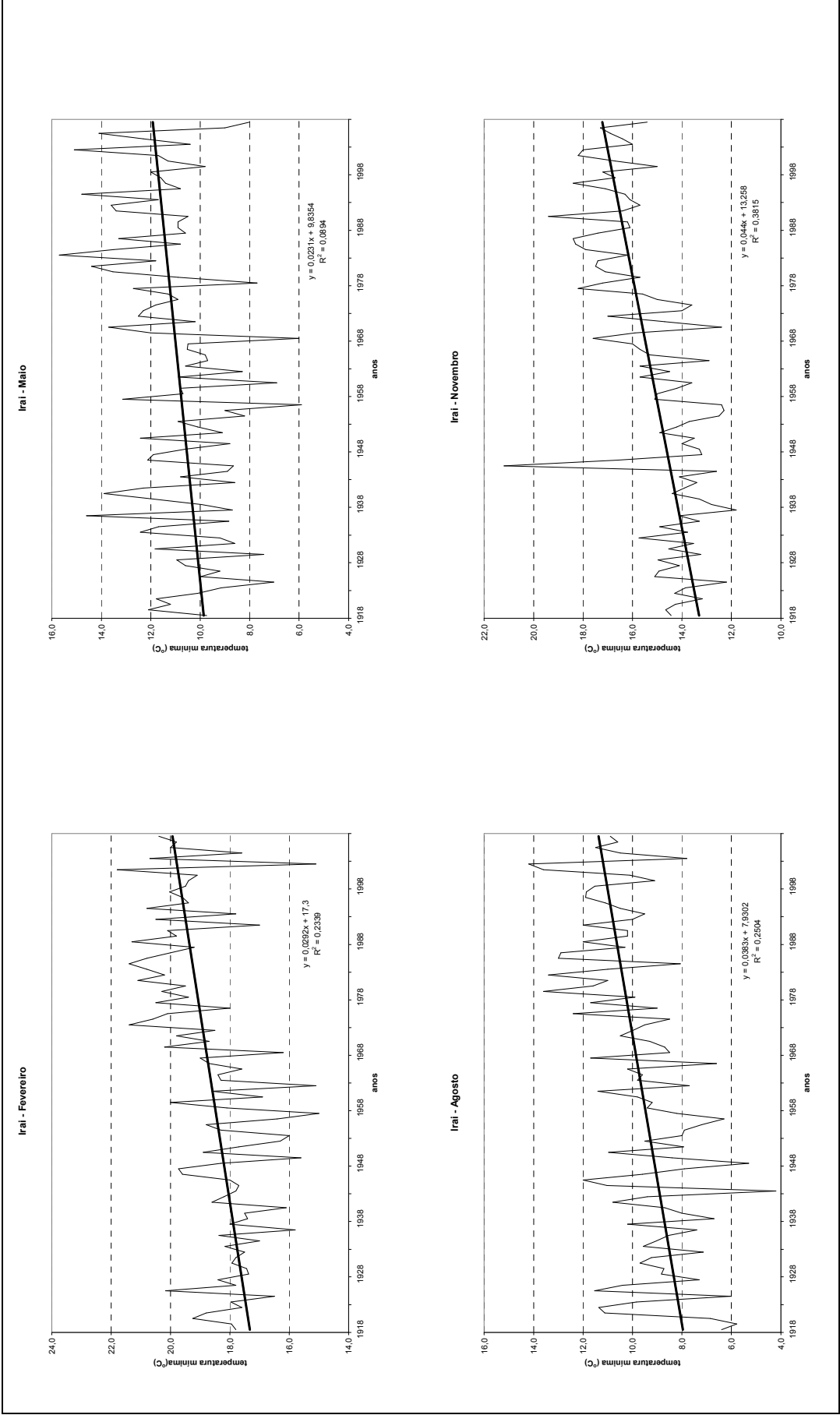


Figura 2 – Representação gráfica das temperaturas mínimas médias mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Irai, de 1918 a 2007.

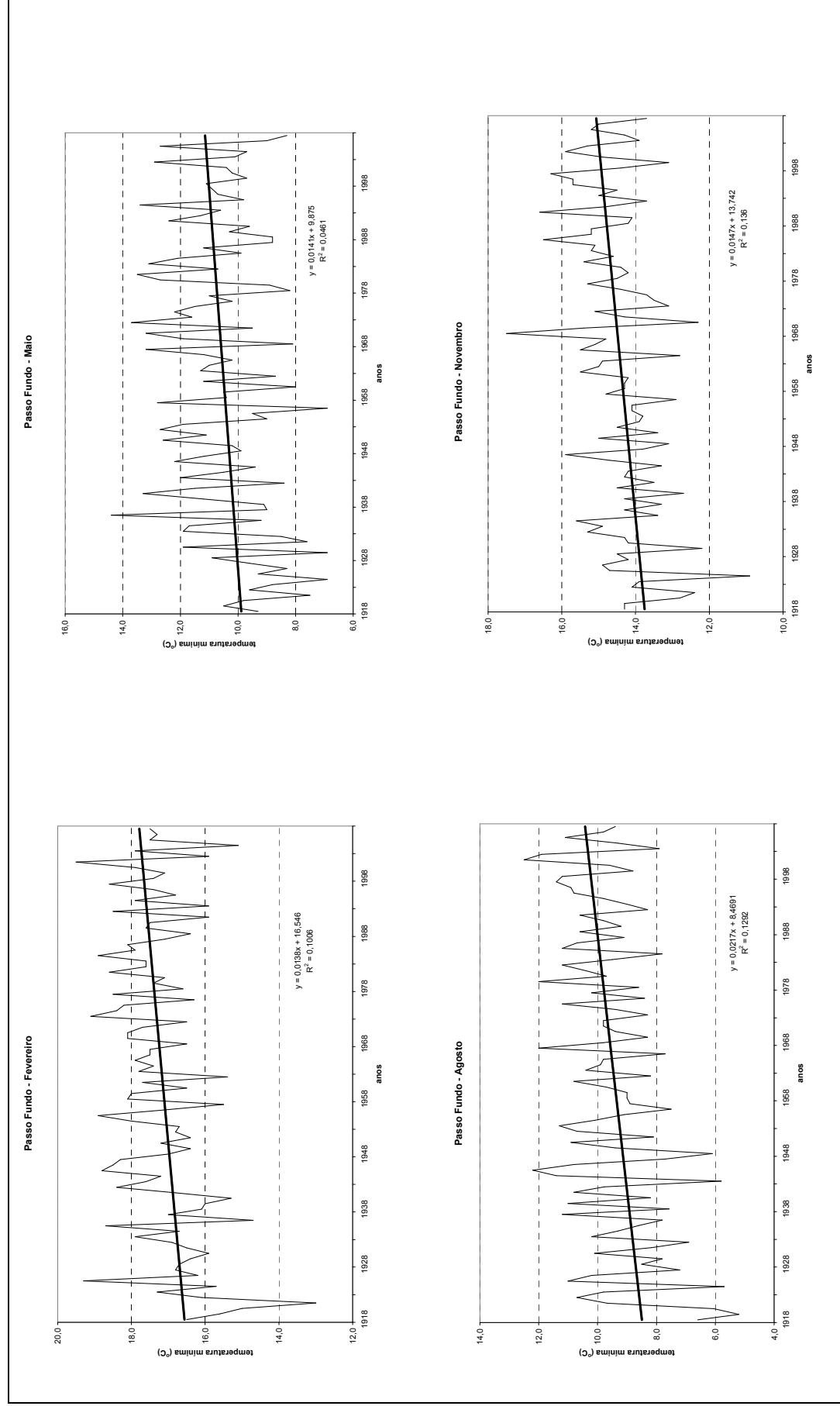


Figura 3 - Representação gráfica das temperaturas mínimas médias mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Passo Fundo, de 1918 a 2007.

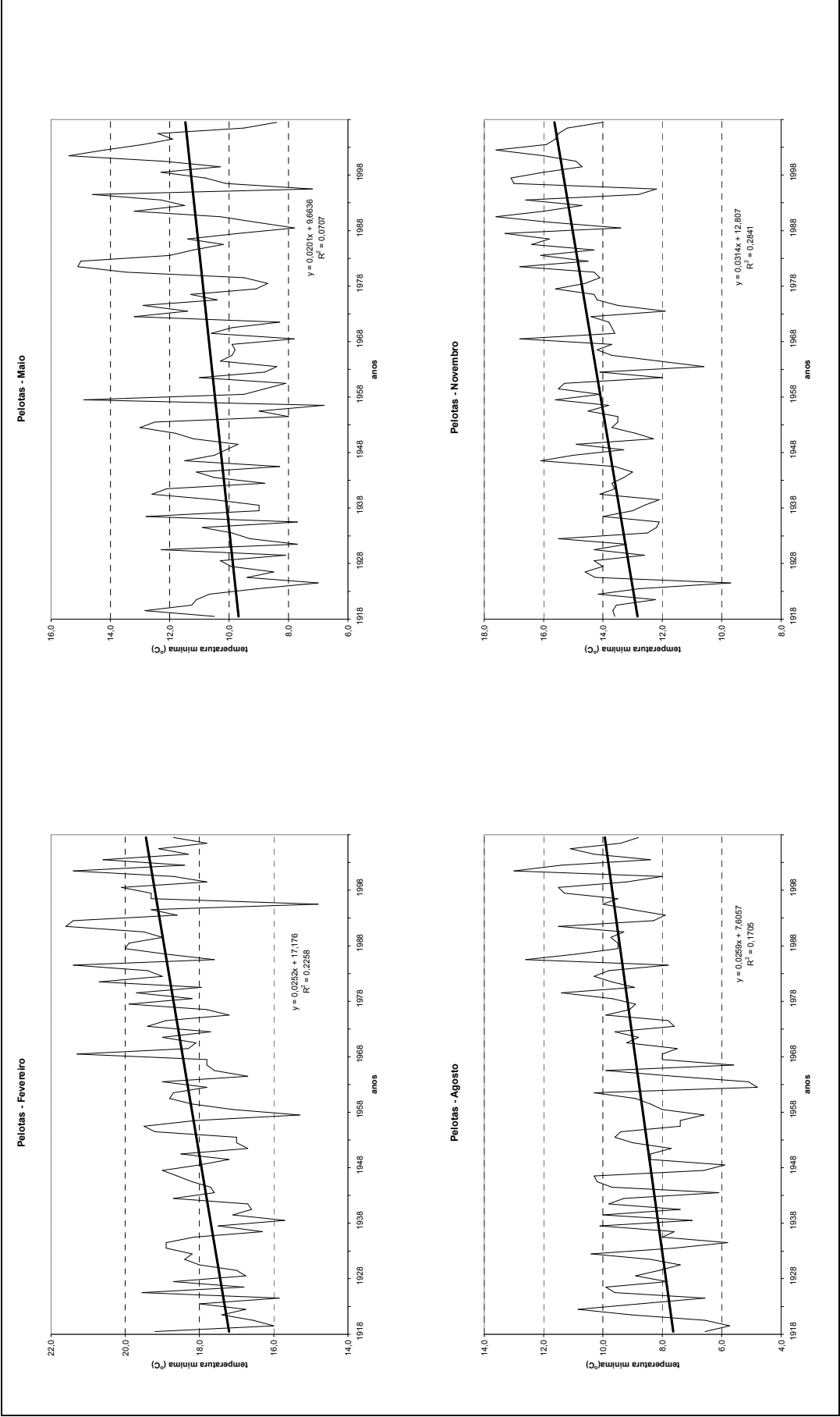


Figura 4 - Representação gráfica das temperaturas mínimas médias mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Pelotas, de 1918 a 2007.

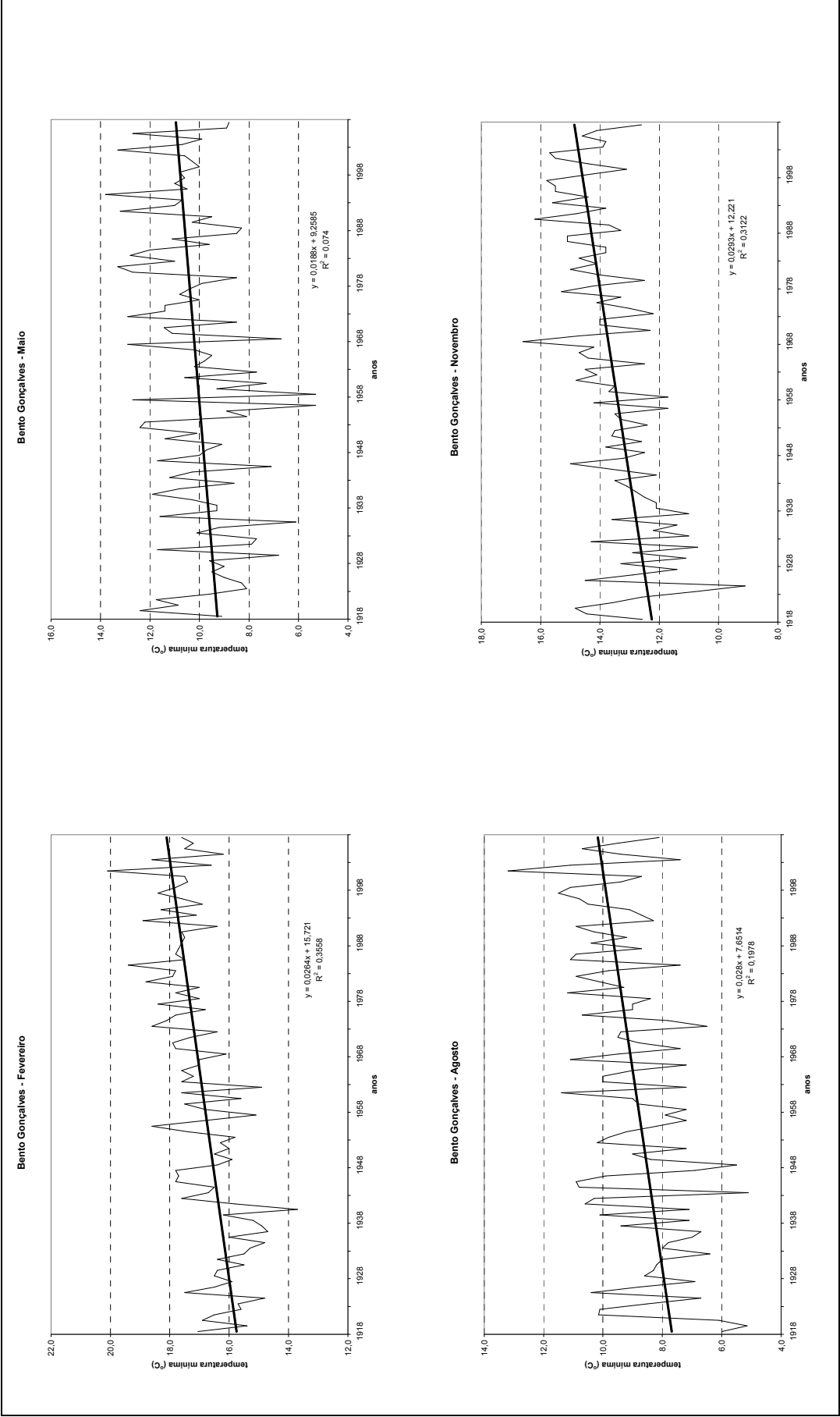


Figura 5 - Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Bento Gonçalves, de 1918 a 2007.

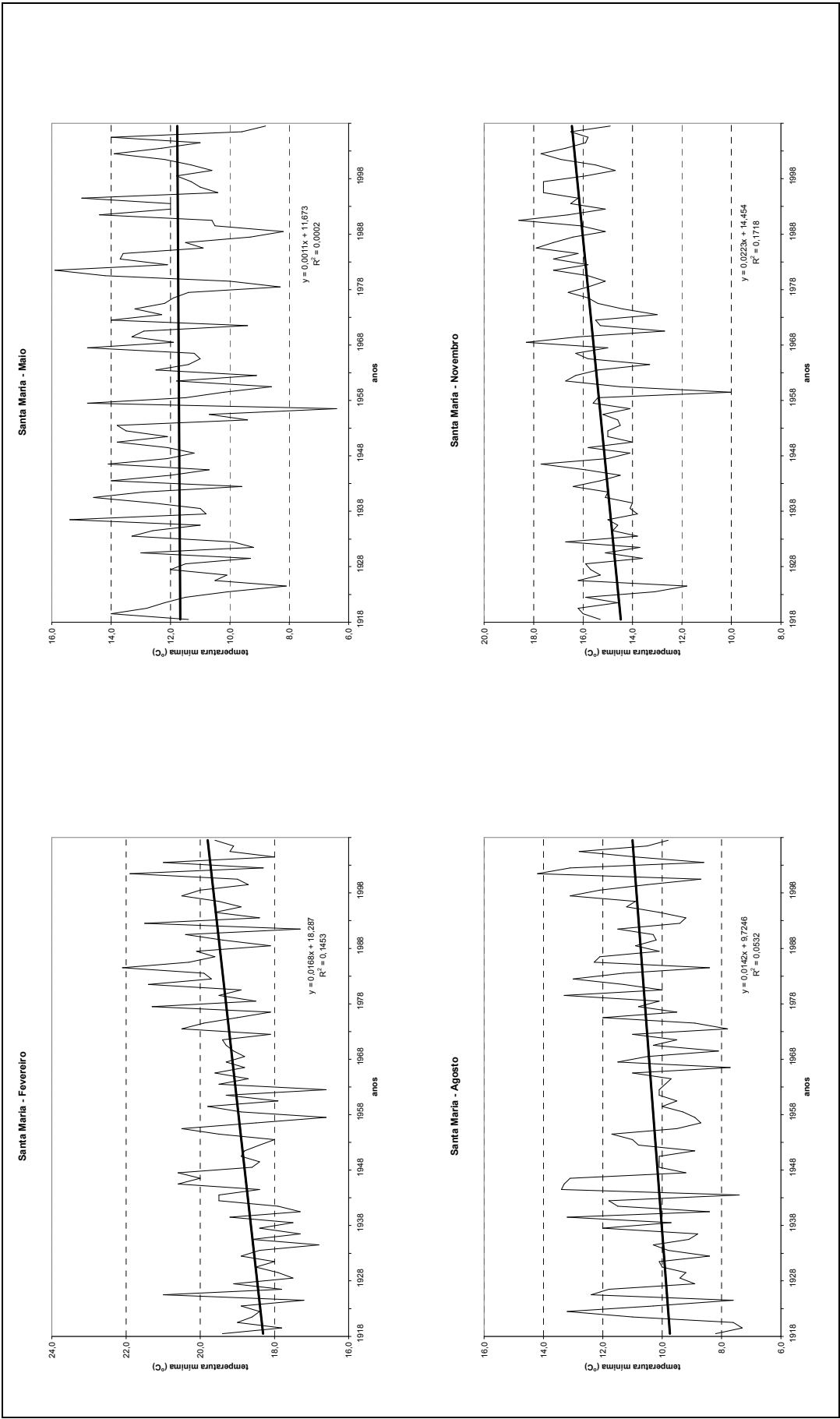


Figura 6 - Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santa Maria, de 1918 a 2007.

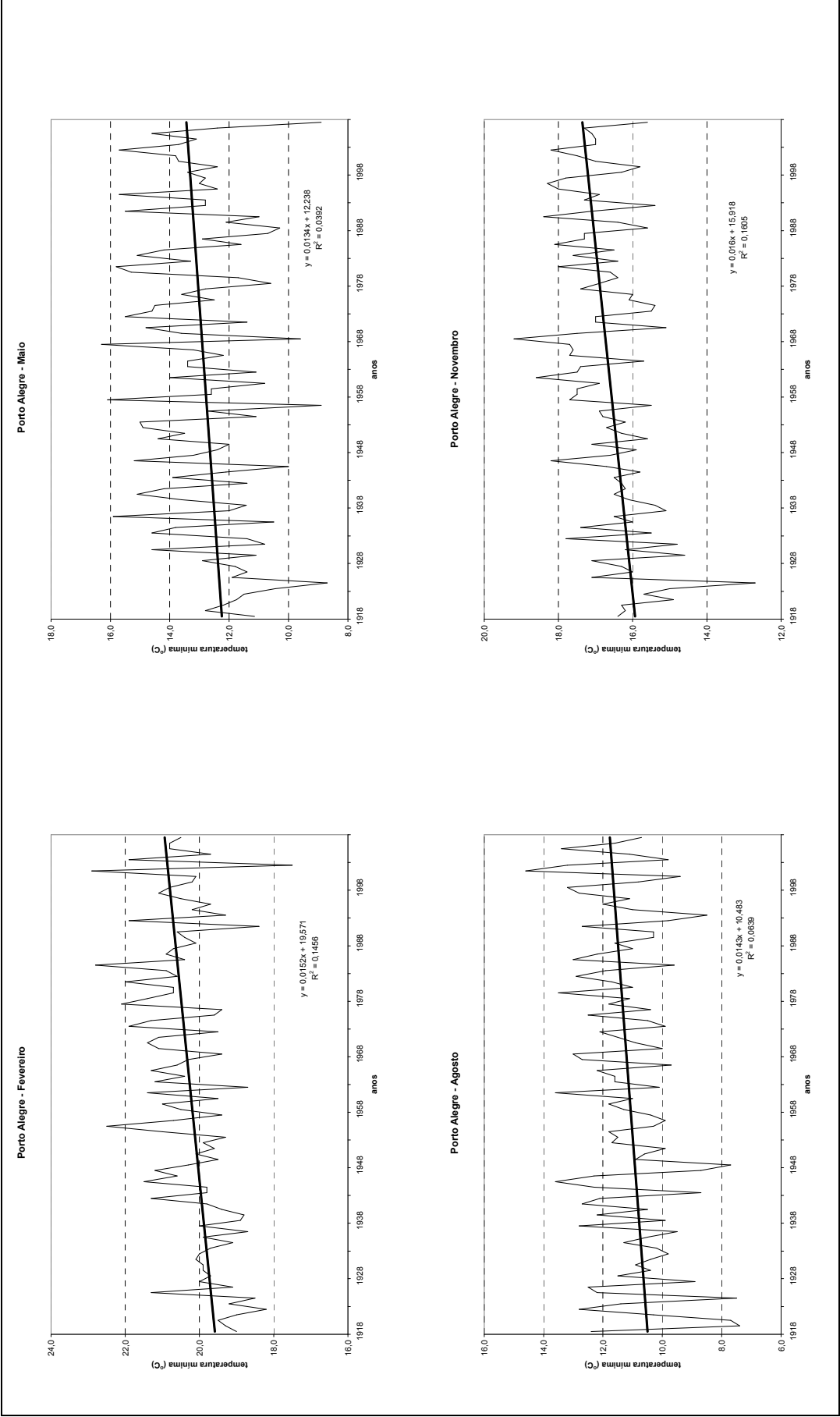


Figura 7 - Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Porto Alegre, de 1918 a 2007.

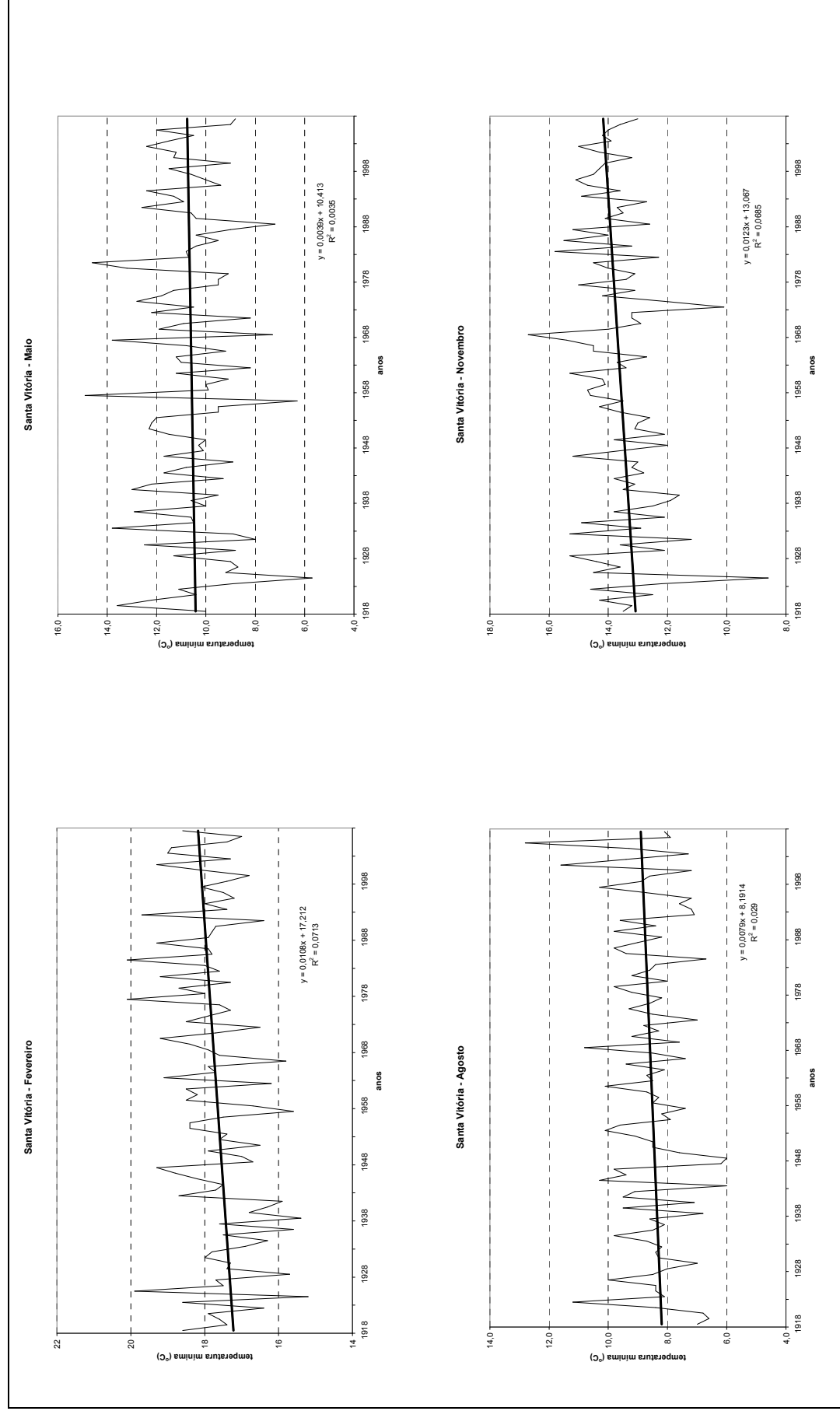


Figura 8 - Representação gráfica das temperaturas mínimas médias mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santa Vitória do Palmar, de 1918 a 2007

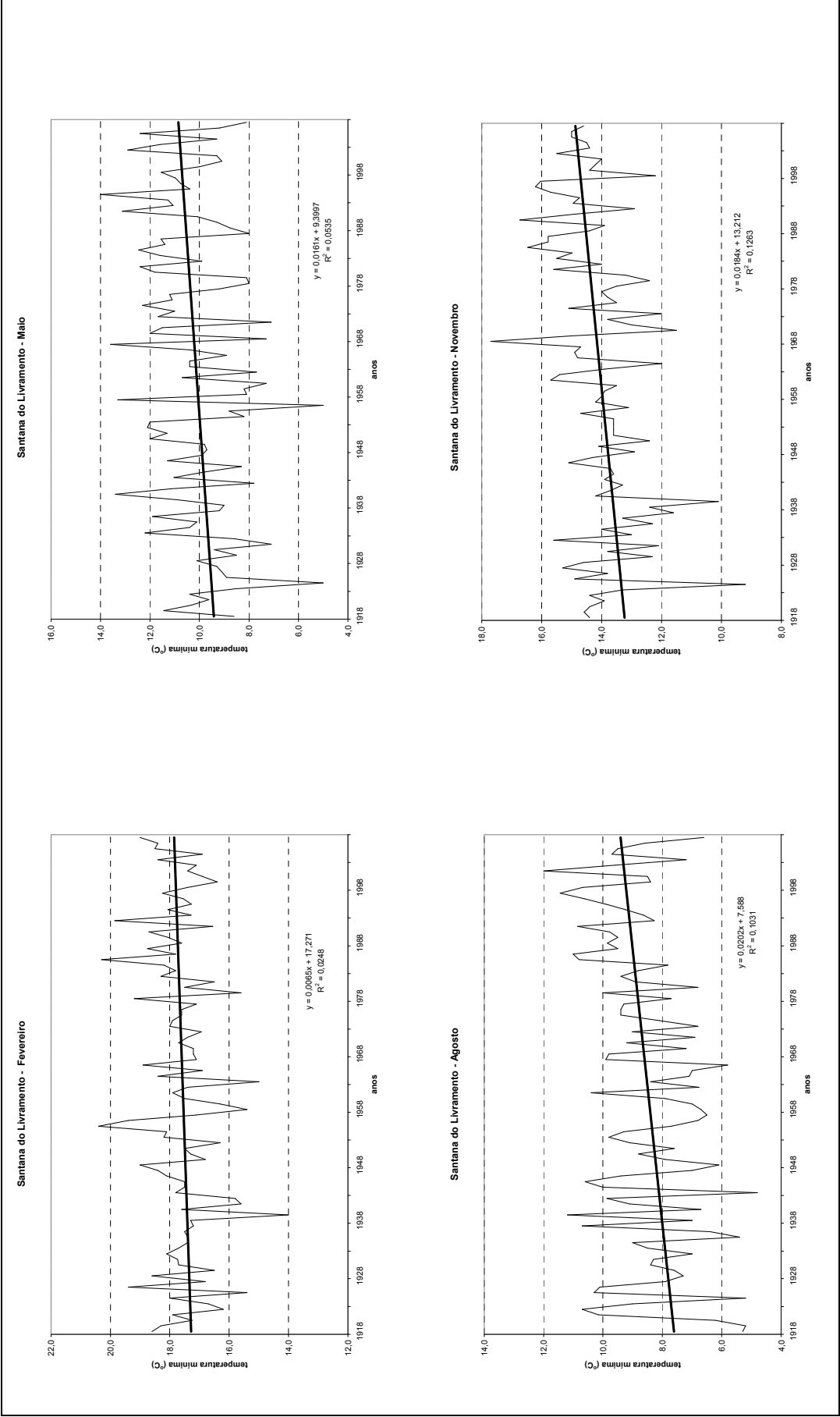


Figura 9 - Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santana do Livramento, de 1918 a 2007.

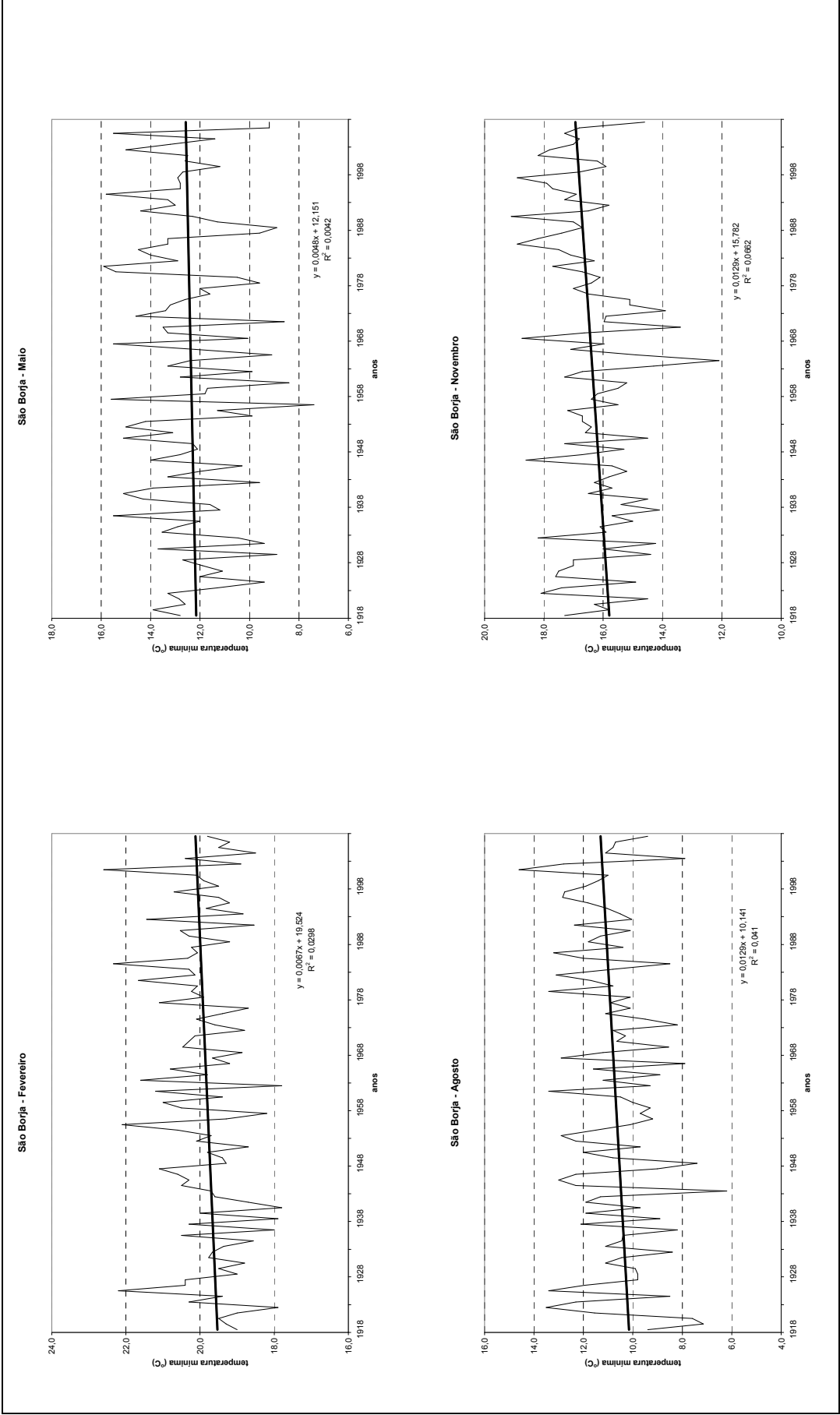


Figura 10 - Representação gráfica das temperaturas mínimas mensais (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de São Borja, de 1918 a 2007.

Apêndice B

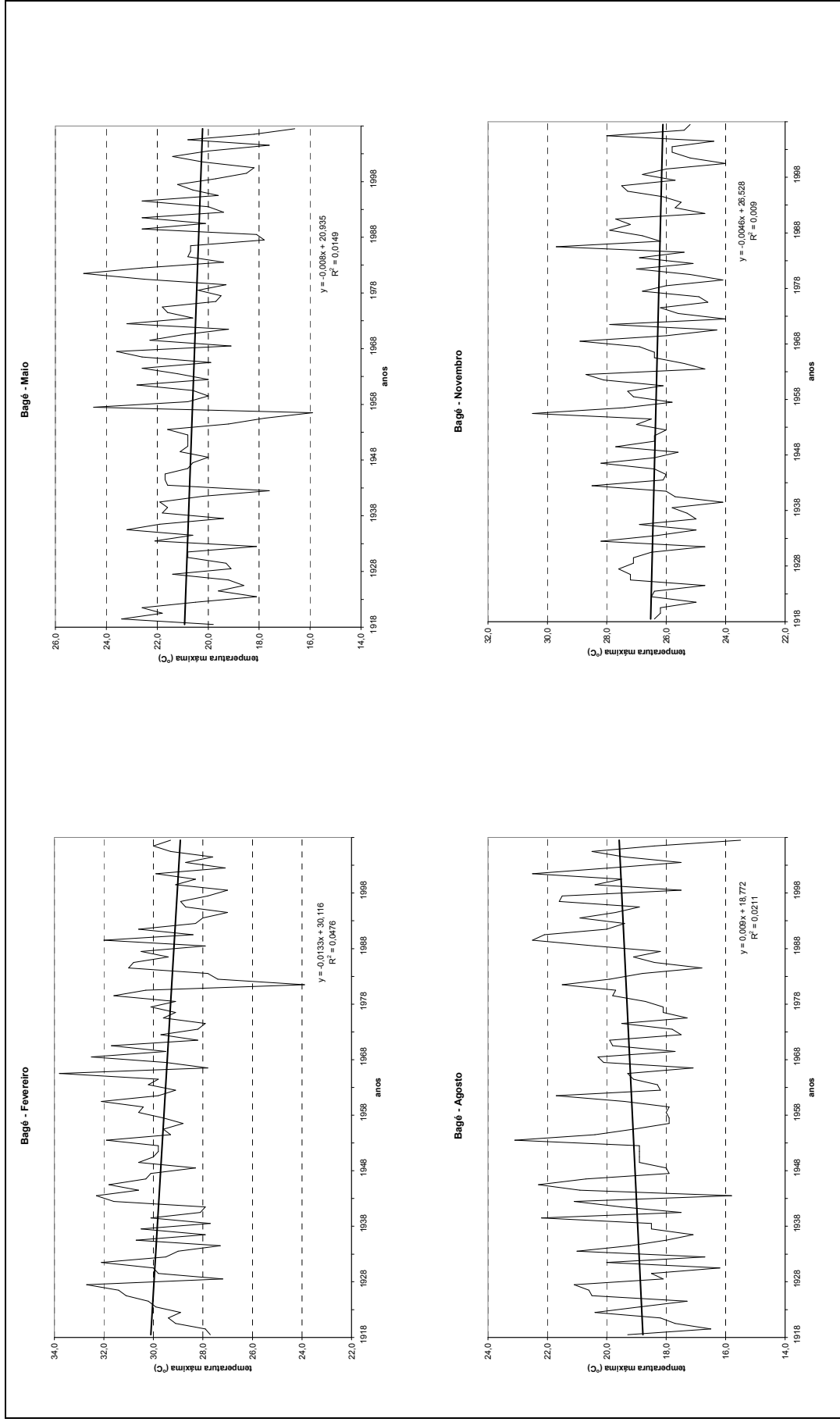


Figura 11 – Representação gráfica da temperatura máxima mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Bagé, de 1918 a 2007.

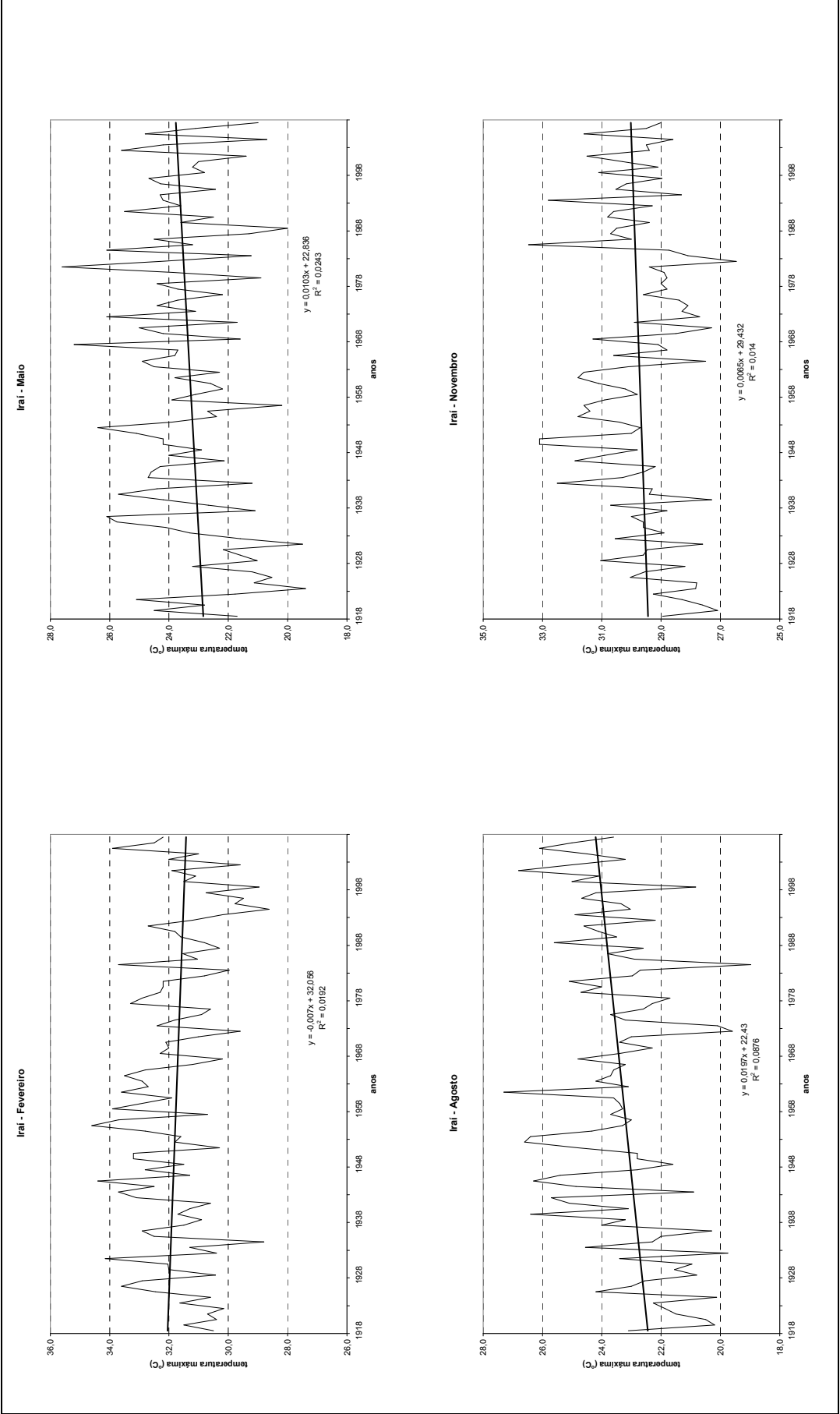


Figura 12 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Irai, de 1918 a 2007.

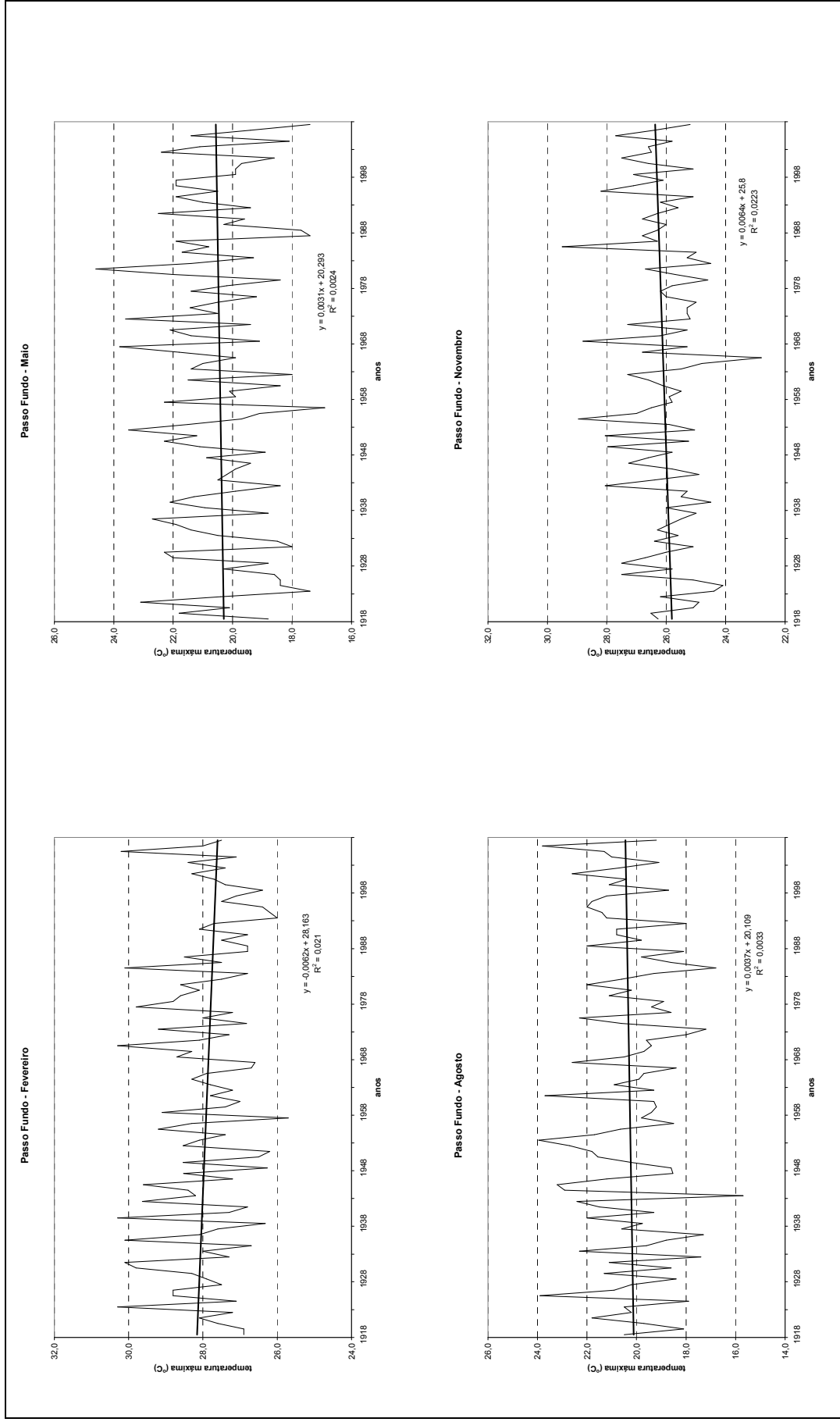


Figura 13 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Passo Fundo, de 1918 a 2007.

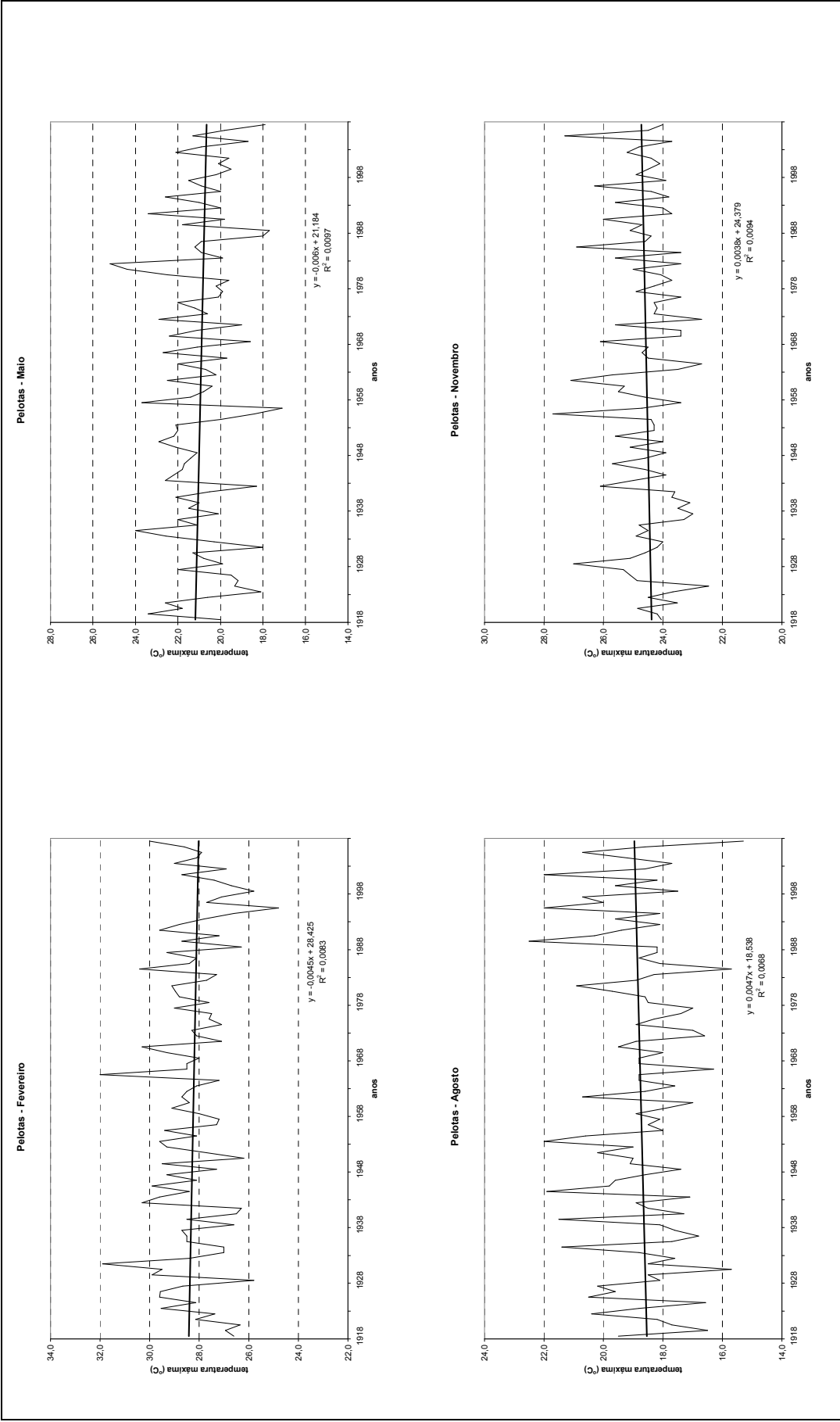


Figura 14 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Pelotas, de 1918 a 2007.

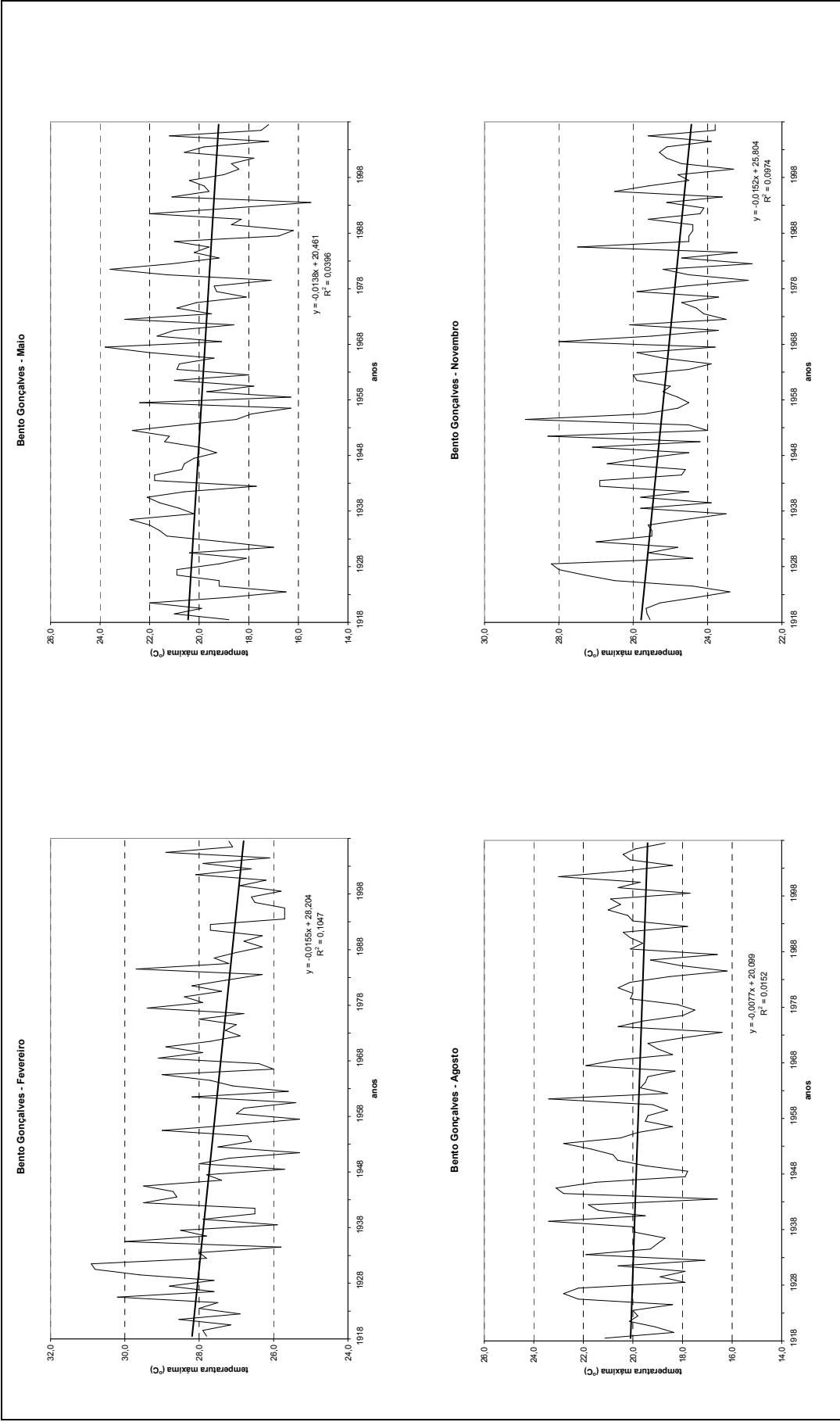


Figura 15 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Bento Gonçalves, de 1918 a 2007.

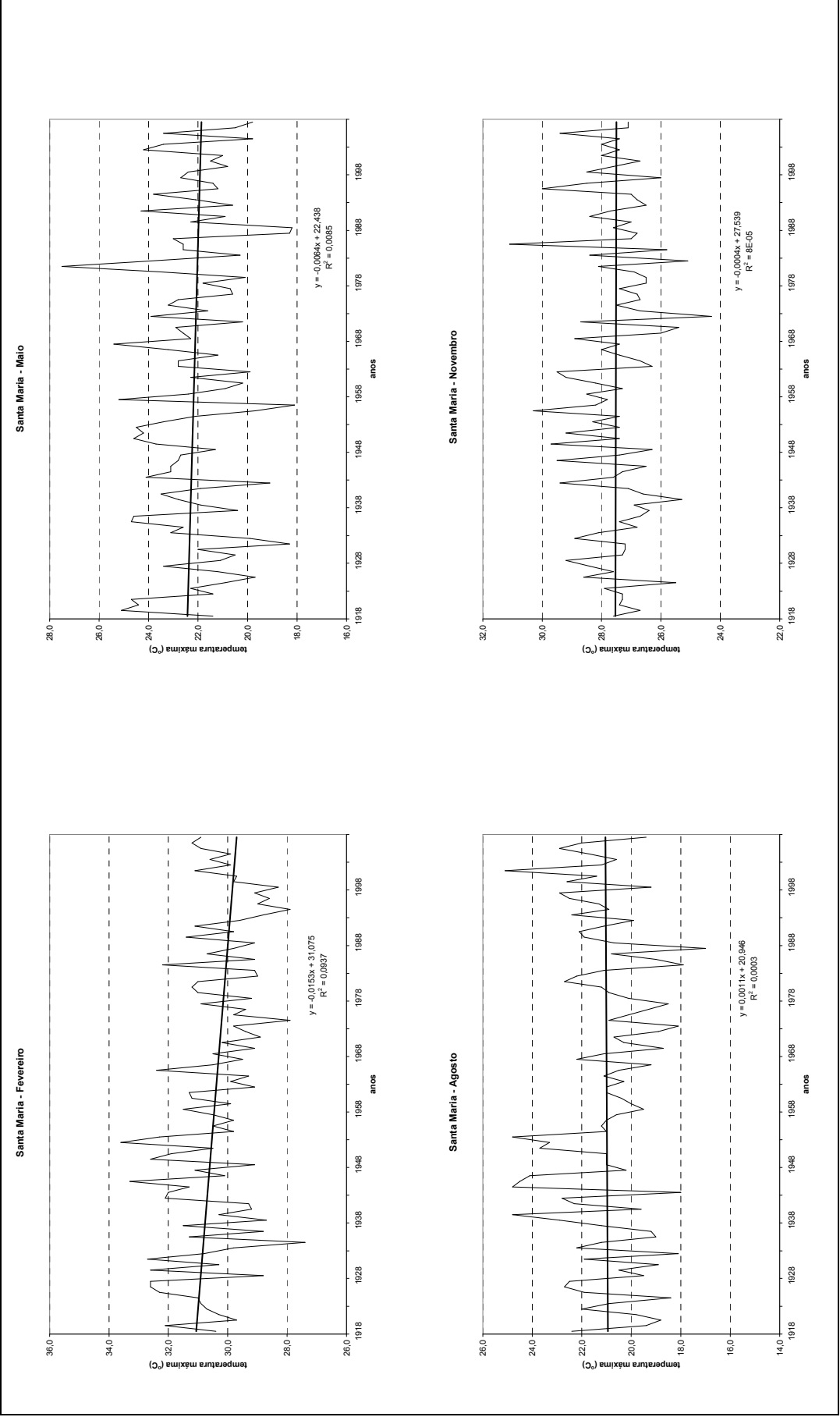


Figura 16 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santa Maria, de 1918 a 2007.

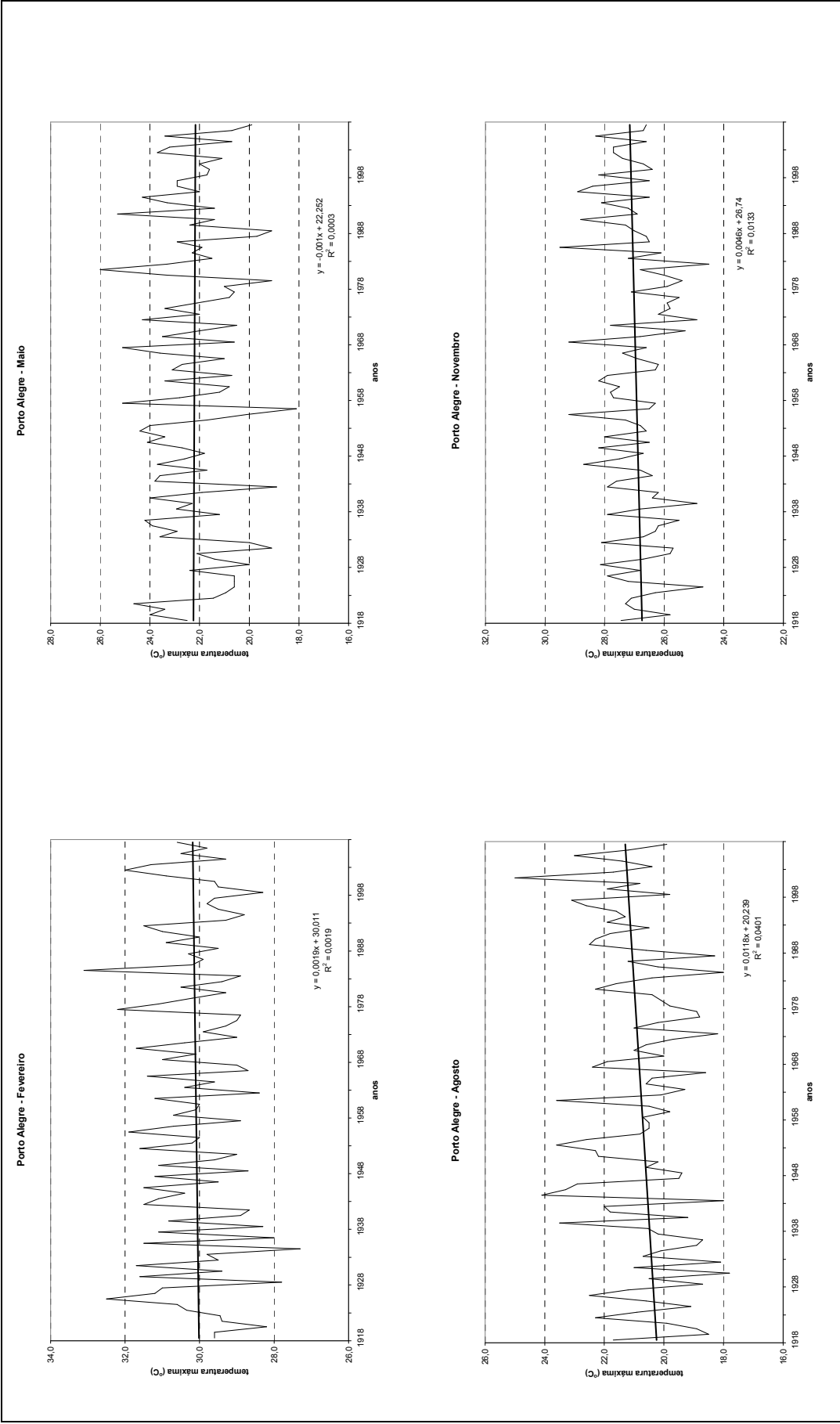


Figura 17 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Porto Alegre, de 1918 a 2007.

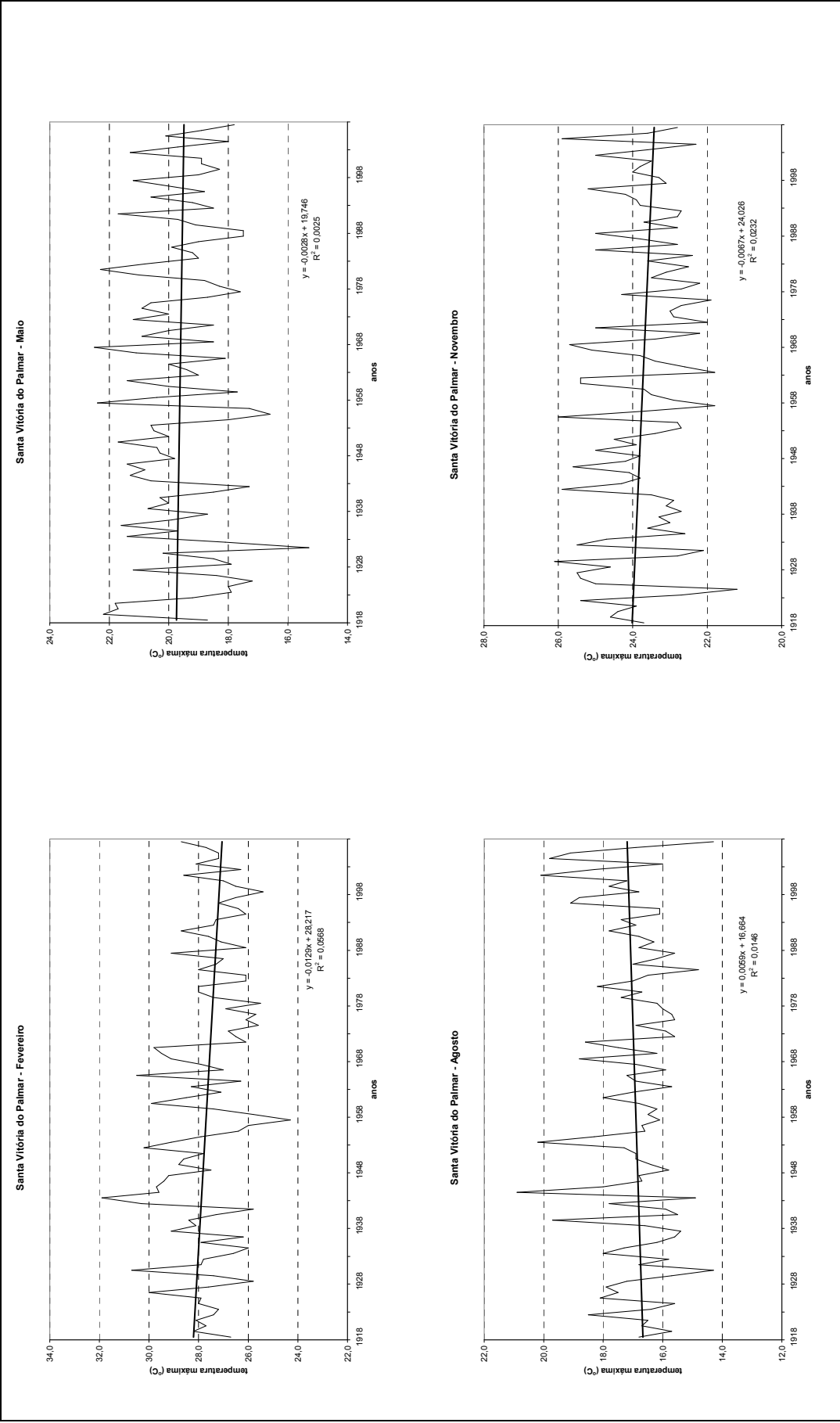


Figura 18 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santa Vitória do Palmar, de 1918 a 2007.

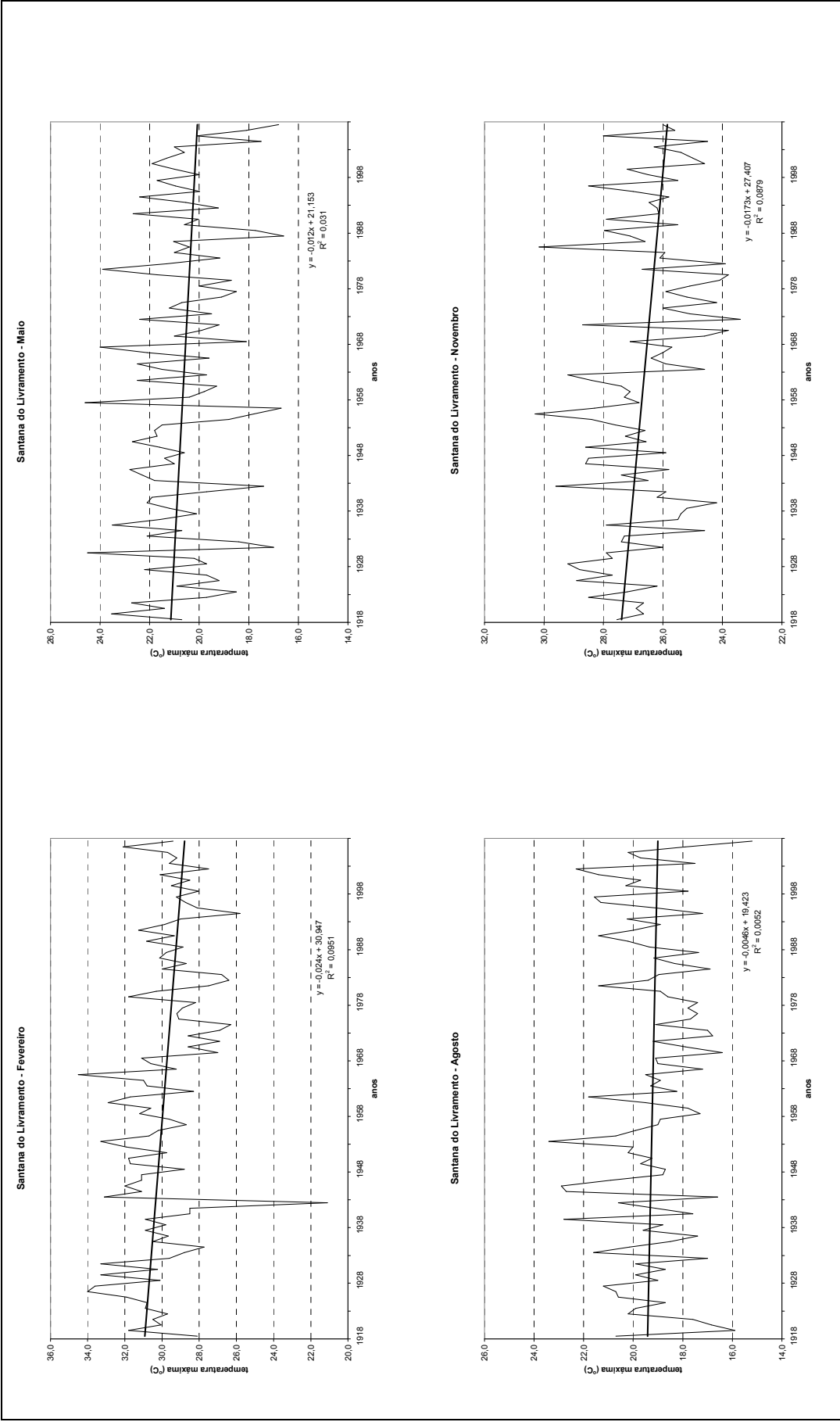


Figura 19 – Representação gráfica da temperatura máxima média mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de Santana do Livramento, de 1918 a 2007

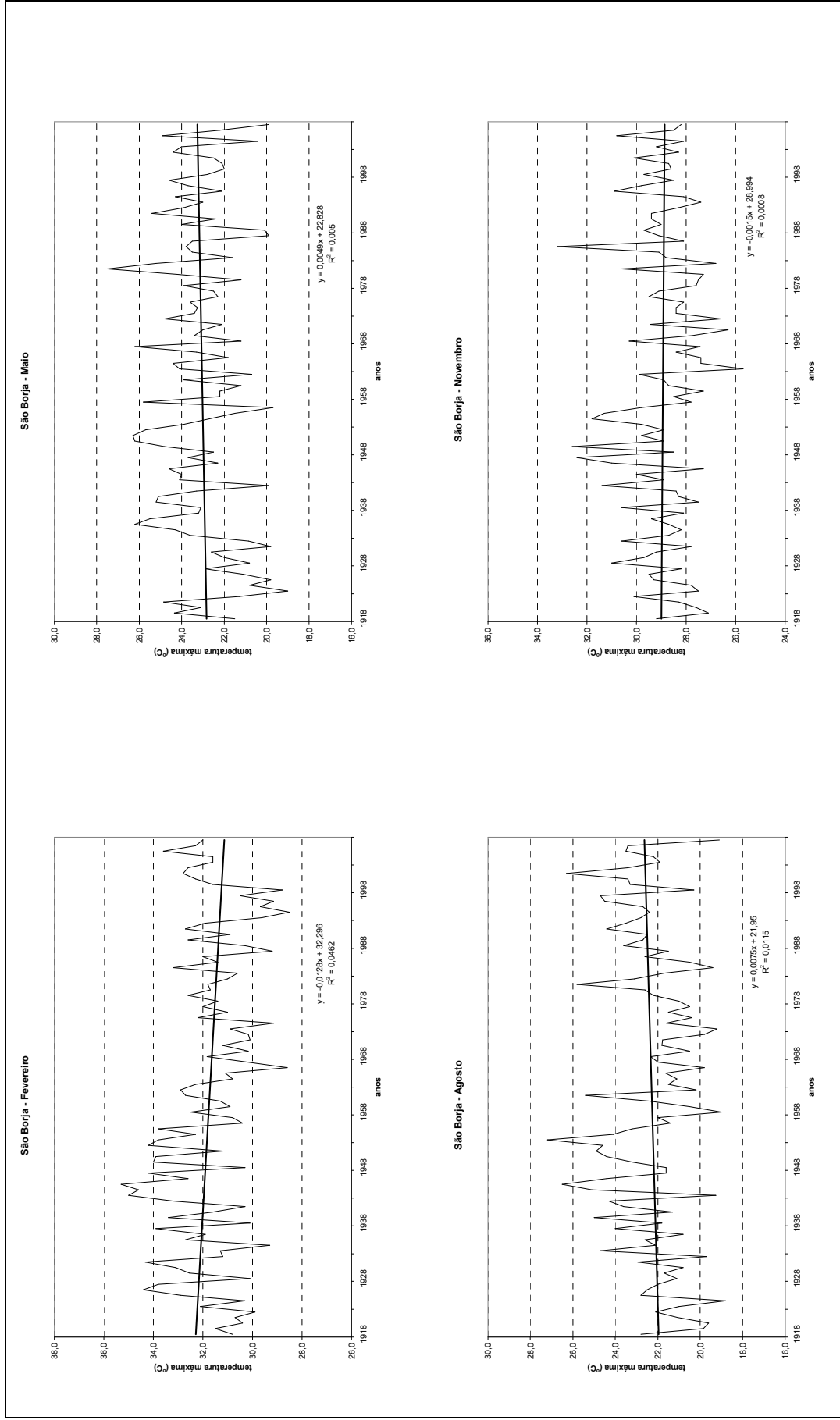


Figura 20 – Representação gráfica da temperatura máxima mensal (°C) para os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro, na estação de São Borja, de 1918 a 2007

Apêndice C

Tabela 18 – Valores observados, estimados pelo modelo e erros de previsão para a série de temperatura mínima média mensal, período de 2003 a 2007, para a cidade de Iraí-RS.

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
1	19,8	20,0	-0,2
2	20,7	20,3	0,4
3	19,0	18,7	0,3
4	14,4	15,5	-1,1
5	10,4	12,2	-1,8
6	13,8	10,2	3,6
7	10,6	10,0	0,6
8	7,8	11,1	-3,3
9	12,2	12,8	-0,6
10	15,9	14,5	1,4
11	16,0	16,4	-0,4
12	18,4	18,4	0,0
13	19,6	20,1	-0,5
14	17,6	20,4	-2,8
15	17,2	18,7	-1,5
16	17,9	15,6	2,3
17	12,3	12,3	0,0
18	11,3	10,3	1,0
19	10,5	10,0	0,5
20	10,5	11,2	-0,7
21	14,9	12,8	2,1
22	14,1	14,6	-0,5
23	16,4	16,5	-0,1
24	18,5	18,5	0,0
25	20,4	20,1	0,3
26	20,0	20,4	-0,4
27	18,8	18,8	0,0
28	16,6	15,6	1,0
29	14,1	12,3	1,8
30	14,1	10,3	3,8

Tabela 18 - continuação

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
31	9,2	10,1	-0,9
32	11,5	11,2	0,3
33	11,6	12,9	-1,3
34	17,1	14,6	2,5
35	16,9	16,5	0,4
36	18,5	18,5	0,0
37	20,8	20,1	0,7
38	19,8	20,4	-0,6
39	19,0	18,8	0,2
40	14,5	15,6	-1,1
41	9,0	12,4	-3,4
42	12,8	10,3	2,5
43	12,1	10,1	2,0
44	10,6	11,2	-0,6
45	12,0	12,9	-0,9
46	17,5	14,7	2,8
47	17,3	16,5	0,8
48	20,5	18,5	2,0
49	21,2	20,2	1,0
50	20,4	20,5	-0,1
51	20,3	18,8	1,5
52	17,1	15,7	1,4
53	8,0	12,4	-4,4
54	9,8	10,4	-0,6
55	8,0	10,1	-2,1
56	10,9	11,3	-0,4
57	15,3	12,9	2,4
58	17,3	14,7	2,6
59	15,4	16,6	-1,2
60	19,2	18,6	0,6

Tabela 19 – Valores observados, estimados pelo modelo e erros de previsão para a série de temperatura mínima média mensal, período de 2003 a 2007, para a cidade de Santana do Livramento –RS.

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
1	18,1	18,2	-0,1
2	18,4	18,3	0,1
3	15,5	16,6	-1,1
4	13,3	13,6	-0,3
5	11,6	10,6	1,0
6	10,1	8,7	1,4
7	7,9	8,6	-0,7
8	7,2	9,5	-2,3
9	9,4	10,7	-1,3
10	12,8	12,3	0,5
11	14,4	14,4	0,0
12	15,1	16,6	-1,5
13	18,7	18,2	0,5
14	16,9	18,3	-1,4
15	16,4	16,6	-0,2
16	16,0	13,6	2,4
17	9,3	10,6	-1,3
18	10,3	8,7	1,6
19	7,5	8,6	-1,1
20	9,7	9,5	0,2
21	12,1	10,7	1,4
22	11,4	12,3	-0,9
23	14,5	14,4	0,1
24	16,9	16,7	0,2
25	18,8	18,2	0,6
26	18,5	18,3	0,2
27	16,7	16,6	0,1
28	13,8	13,6	0,2
29	12,4	10,6	1,8
30	13,2	8,8	4,4
31	8,2	8,6	-0,4

Tabela 19 - continuação

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
32	9,5	9,5	0,0
33	8,4	10,7	-2,3
34	11,8	12,3	-0,5
35	15,0	14,4	0,6
36	15,3	16,7	-1,4
37	19,4	18,3	1,1
38	18,4	18,3	0,1
39	17,4	16,6	0,8
40	14,5	13,7	0,8
41	9,2	10,6	-1,4
42	10,4	8,8	1,6
43	11,8	8,6	3,2
44	8,6	9,5	-0,9
45	9,1	10,8	-1,7
46	14,1	12,4	1,7
47	15,0	14,4	0,6
48	18,7	16,7	2,0
49	19,2	18,3	0,9
50	19,0	18,3	0,7
51	18,6	16,6	2,0
52	15,8	13,7	2,1
53	8,1	10,6	-2,5
54	8,2	8,8	-0,6
55	4,8	8,6	-3,8
56	6,6	9,5	-2,9
57	13,5	10,8	2,7
58	15,5	12,4	3,1
59	14,6	14,4	0,2
60	17,9	16,7	1,2

Tabela 20 – Valores observados, estimados pelo modelo e erros de previsão para a série de temperatura mínima média mensal, período de 2003 a 2007, para a cidade de Pelotas –RS.

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
1	19,5	19,1	0,4
2	20,6	19,5	1,1
3	19,1	17,9	1,2
4	14,5	14,7	-0,2
5	12,9	11,3	1,6
6	11,8	9,1	2,7
7	8,8	8,7	0,1
8	8,4	9,7	-1,3
9	10,2	11,3	-1,1
10	14,3	13,1	1,2
11	15,9	15,1	0,8
12	16,5	17,3	-0,8
13	19,4	19,1	0,3
14	18,3	19,6	-1,3
15	17,7	18,0	-0,3
16	16,3	14,7	1,6
17	11,9	11,3	0,6
18	10,8	9,1	1,7
19	8,5	8,8	-0,3
20	10,3	9,8	0,5
21	12,3	11,4	0,9
22	12,2	13,1	-0,9
23	15,6	15,1	0,5
24	17,3	17,3	0,0
25	19,0	19,1	-0,1
26	19,1	19,6	-0,5
27	17,4	18,0	-0,6
28	13,7	14,8	-1,1
29	12,4	11,4	1,0
30	13,4	9,2	4,2

Tabela 20 – continuação

h(meses a frente)	Observados	Estimados	erros de previsão
31	8,9	8,8	0,1
32	11,1	9,8	1,3
33	11,4	11,4	0,0
34	13,2	13,1	0,1
35	15,5	15,1	0,4
36	16,1	17,3	-1,2
37	19,3	19,2	0,1
38	17,8	19,6	-1,8
39	17,8	18,0	-0,2
40	14,3	14,8	-0,5
41	9,5	11,4	-1,9
42	8,9	9,2	-0,3
43	11,9	8,8	3,1
44	9,4	9,8	-0,4
45	10,0	11,4	-1,4
46	14,9	13,2	1,7
47	15,2	15,1	0,1
48	19,1	17,4	1,7
49	19,5	19,2	0,3
50	18,7	19,6	-0,9
51	20,2	18,0	2,2
52	16,3	14,8	1,5
53	8,4	11,4	-3,0
54	8,5	9,2	-0,7
55	6,2	8,8	-2,6
56	8,8	9,8	-1,0
57	13,7	11,4	2,3
58	15,7	13,2	2,5
59	14,0	15,2	-1,2
60	17,4	17,4	0,0