



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m18/2010/11.10.17.26-TDI

**PADRÕES CLIMÁTICOS ATUAIS E FUTUROS DE
TEMPERATURA DO AR NA REGIÃO SUL DO BRASIL
E SEUS IMPACTOS NOS CULTIVOS DE PÊSSEGO E
DE NECTARINA EM SANTA CATARINA**

Claudia Guimarães Camargo Campos

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. José Antonio Marengo Orsini, aprovada em 16 de novembro de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/38JA2DE>>

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m18/2010/11.10.17.26-TDI

**PADRÕES CLIMÁTICOS ATUAIS E FUTUROS DE
TEMPERATURA DO AR NA REGIÃO SUL DO BRASIL
E SEUS IMPACTOS NOS CULTIVOS DE PÊSSEGO E
DE NECTARINA EM SANTA CATARINA**

Claudia Guimarães Camargo Campos

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. José Antonio Marengo Orsini, aprovada em 16 de novembro de 2010.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/38JA2DE>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Campos, Claudia Guimarães Camargo.

C157p Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na Região Sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssego e de nectarina em Santa Catarina / Claudia Guimarães Camargo Campos. – São José dos Campos : INPE, 2011.

xxiv+165 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m18/2010/11.10.17.26-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

Orientador : Dr. José Antonio Marengo Orsini.

1. Temperatura do ar. 2. Mudanças climáticas. 3. Agricultura.
I.Título.

CDU 551.5 (816.4)

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.


**Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Doutor(a) em
Meteorologia**

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. José Antonio Marengo Orsini



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Regina Célia dos Santos Alvalá



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Javier Tomasella



Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Eduardo Delgado Assad



Convidado(a) / EMBRAPA / Campinas - SP


Dr. Paulo Henrique Caramori



Convidado(a) / IAPAR / Londrina - PR

Aluno (a): Claudia Guimarães Camargo Campos

São José dos Campos, 16 de novembro de 2010

*“ Sou vencedor, porque o Dono da vitória me faz vencer...
Sou lutador e é nessa batalha que vou crescer...
Sempre com Cristo, Vivo com Cristo...
A cada passo que dou...
Sou vencedor!!!”*

Cristiano Campos

*A DEUS acima de tudo,
A meus pais CLAUDIO e ENI,
A meu amado esposo CRISTIANO,
A meus tesouros DAVI e NATHAN,
e a toda minha amada família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois somente com Sua presença infinita em minha vida foi possível vencer mais esta etapa.

A meus queridos pais, Cláudio e Eni, pelo constante apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida, ensinando-me o verdadeiro sentido de *buscar*, *acreditar* e *vencer*. Pela presença contínua, mesmo estando distantes; pelo amor que pude receber em cada gesto.

A meu amado esposo, Cristiano Campos, por cada gesto de amor, de carinho, de compreensão, de paciência e de estímulo em todas as etapas deste trabalho. Pode ter certeza, que essa vitória em grande parte deve a teu apoio e por estares a cada dia ao meu lado.

A meus filhos e meus tesouros, Davi e Nathan, que são como meu sopro de vida, que nasceram ao longo deste estudo e são meus grandes incentivos a cada dia.

A todos da minha família e a meus queridos irmãos por estarem sempre presentes em minha vida, pelos diversos exemplos de amor, união, dignidade e perseverança.

Ao Dr. José Antônio Marengo Orsini que, com grande dedicação, orientou-me neste trabalho. Agradeço por toda sua compreensão, paciência e amizade, pelo seu papel fundamental não só como orientador, mas como um grande incentivador.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Meteorologia pelo conhecimento compartilhado, em especial ao professor Dr. Nelson Ferreira e à professora Dra. Marley Moscati, que tiveram um papel fundamental na continuidade deste trabalho. À coordenação acadêmica e aos membros do conselho de curso 2009/2010, por todo apoio e compreensão. Às funcionárias da *PGMET*, Lílian Escobar e Simone Umeno, por toda eficiência e incansável apoio.

Aos membros da Banca examinadora por cada dica e conhecimentos transmitidos, que muito enriqueceram este trabalho. Em especial, a Professora Dra. Regina Alvalá, que muito enriqueceu o presente estudo com suas colaborações finais.

A minha amiga Kellen Lima, por cada vez que me representou e a quem eu pude confiar muitos dos meus compromissos junto à Pós-graduação. Aos meus amigos e colegas do CPTEC que sempre me acolheram com carinho e apoio.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) e ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM) que possibilitaram o uso de informações e ferramentas para o desenvolvimento desta pesquisa. Em especial, a todos meus colegas de trabalho e amigos, que me apoiaram e incentivaram no desenvolvimento deste trabalho. Entre muitos agradeço: a Gilsânia, a Francine, ao Daniel Calearo, meus grandes amigos, a Marilene, ao Fábio, a Laura, ao Rafael Censi, a Cristina Pandolfo, ao Hugo Braga, ao Ângelo Massignam, ao Luiz Albano Hammes, a Manuela Pereira, ao Daniel Malandrin, pela parceria no dia-a-dia e por todo o apoio e incentivo para a conclusão deste trabalho.

À *FINEP* e ao *CNPq* pelo apoio financeiro, que por intermédio do Projeto ClimaSul, viabilizaram a realização e conclusão deste estudo.

À *AGROCONSULT*, do Rio de Janeiro, por viabilizar parte de meus estudos.

Por fim, a todas as pessoas, indistintamente, que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho e para a superação de todos os obstáculos.

RESUMO

Nos últimos 30 anos observaram-se alterações do clima em diferentes partes do globo, assim como seus impactos diretos em diferentes setores. No intuito de poder compreender melhor o clima presente e futuro em nível regional, foram abordados no presente estudo os principais padrões climáticos da temperatura do ar na região sul do Brasil, assim como seus extremos e os principais impactos destes para os cultivos de pêssigo e de nectarina no Estado de Santa Catarina. As condições atuais de clima e solo desta região são adequadas às exigências bioclimáticas destas culturas, sobretudo o clima temperado; porém, o grande questionamento é saber como estas culturas, que possuem uma dependência ao frio, irão responder ao clima futuro. A presente análise foi realizada com base em valores diários de temperatura do ar de estações meteorológicas localizadas nos Estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, no período de 1961-2008. Adicionalmente, também foram tomados como base os dados diários projetados pelo modelo climático regional HadRM3P (2071-2100), para dois diferentes cenários de emissões de gases do efeito estufa: A2 e B2. Em ambas as séries (observadas e projetadas), utilizou-se como referência o período normal climatológico, 1961-1990. Primeiramente, para uma maior confiabilidade nos dados, realizou-se uma detalhada análise de consistência nos valores diários das temperaturas máxima, média e mínima. Ao analisar os dados em nível anual, sazonal, mensal e por décadas, foi possível observar que as diferenças térmicas regionais são extremamente notáveis, marcadas pela extensão longitudinal, latitudinal e, principalmente, pelas peculiaridades que a Região Sul possui em relação às altitudes elevadas. Observou-se, na última década (2000-2008), um aumento da amplitude térmica, em decorrência ao aumento da temperatura máxima do ar. Ao averiguar as projeções de clima futuro geradas pelo modelo climático regional HadRM3P (2071-2100), para a Região Sul do Brasil, também observou-se um aumento expressivo da temperatura média do ar e das temperaturas extremas, máxima e mínima, com destaque para a temperatura máxima do ar. Em todas as análises, anual, sazonal e mensal, o aquecimento decorrente do cenário A2 é mais drástico, conforme esperado, com um aumento de até 5,8°C na Primavera. Observam-se claramente os diferentes aumentos na temperatura do ar mensal, gerados em função dos cenários A2 e B2, com destaque o aquecimento projetado para o mês de setembro. O efeito deste aquecimento foi perceptivelmente impactante para os cultivos de pêssigo e de nectarina. Por um lado, é positiva a diminuição do risco de geada, por outro lado, em ambos os cenários (A2 e B2), é evidente a disponibilidade menor de horas de frio, restritas às localidades mais altas, o que forçosamente responderá uma redução de áreas aptas ao plantio do pêssigo e da nectarina.

CURRENT AND FUTURE AIR TEMPERATURE CLIMATIC PATTERNS IN THE SOUTH REGION OF BRAZIL: THE IMPACTS ON PEACH AND NECTARINE PRODUCTION IN SANTA CATARINA

ABSTRACT

Over the years, climate changes and their direct impacts were observed in different parts of the globe. The present study considers the main air temperature patterns, including their extreme values, in Southern Brazil and assesses their impacts on peach and nectarine production. The analysis is based on daily air temperatures recorded at weather stations distributed throughout Parana, Santa Catarina and Rio Grande do Sul States during the 1961-2008 period. Additionally, daily temperatures were projected through the use of the regional climate model HadRM3P (2071-2100) under two different scenarios of greenhouse gases emissions, namely A2 and B2. In both series (observed and projected), a standard climatologically period (1961-1990) was used as a reference. As a first step, detailed analysis of consistency on the daily temperature values of maximum, medium and minimum was carried out. Data analysis at decade, annual, seasonal and monthly levels indicated that regional temperature differences are very noticeable, marked by the longitudinal and latitudinal extension and especially by the highlands peculiarities present in the Southern Region. Over the last decade (2000-2008), a rise in the air temperature range due to the increase in maximum air temperatures was observed. Moreover, climate projections in Southern Brazil generated by the climate model HadRM3P (2071-2100) indicate a significant increase in mean air temperature, as well as for the extreme maximum and minimum temperatures, and most remarkably for the maximum air temperature. As expected, the A2 scenario presented a more significant warming in the annual, seasonal and monthly analysis, with an increase up to 5.8 degrees in air temperature during the spring. There were clear different patterns in the monthly air temperature increments generated by the scenarios A2 and B2, especially when the warming projected for the month of September is compared. The effect of this warming increment has significant impacts on peach and nectarine production. In fact, in the one hand, there is a positive impact due the decrease of frost risk. On the other hand, however, both scenarios (A2 and B2), present a clear reduction of chilling hours, which remain restricted to regions in higher locations. This pattern will forcefully lead to a reduction of areas suitable for planting peach and nectarine in the South Region of Brazil.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 – Mudanças Climáticas e Fundamentos Teóricos	8
2.2 – Eventos Extremos	11
2.3 – Projeções de Cenários Climáticos.....	18
2.3.1 – Downscaling	22
2.4 – Mudanças Climáticas e a Agricultura.....	23
2.5 – Os cultivos de Pêssego e de Nectarina.....	28
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA	35
3.1 – Região de estudo.....	35
3.2 – Dados	36
3.3 – Metodologia	39
3.3.1 – Primeira Etapa: Organização e consistência dos dados observados de temperatura do ar	40
3.3.2 – Segunda Etapa: Definição dos padrões climáticos atuais da Região Sul do Brasil tendo como base dados observados em estações meteorológicas.....	44
3.3.3 – Terceira Etapa: Cenários climáticos projetados pelo modelo regional HadRM3P.....	44
3.3.4 – Quarta Etapa: Projeções de Cenários Agrícolas	50

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 – Análise dos Padrões de Temperatura do Ar da Região Sul do Brasil	57
4.1.1 – Médias Anuais e Sazonais.....	58
4.1.2 – Médias Mensais	92
4.1.3 – Valores Absolutos Mensais e Anuais (Extremos Climáticos).....	95
4.2 – Análise dos cenários climáticos futuros de temperatura do ar para a região Sul do Brasil	105
4.2.1 – Dados observados versus dados simulados pelo modelo HadRM3P para o clima presente (1961-1990).....	105
4.2.2 – Cenários climáticos de temperatura simulados pelo modelo HadRM3P para o clima futuro (2071-2100).....	117
4.3 – Projeções de cenários agrícolas e implicações de possíveis impactos em cultivares de pêssigo e de nectarina.....	127
4.3.1 – Análises de risco de geada na região sul do Brasil	128
4.3.2 – Análise do número total de horas de frio ($T < 7,2^{\circ}\text{C}$) em SC	138
4.3.3 – Impacto das projeções climáticas no zoneamento agrícola do pêssigo e da nectarina.....	142
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	147
5.1 – Síntese e Conclusão	147
5.2 – Sugestões para Estudos Futuros	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Síntese dos principais objetivos propostos.....	7
2.1 - Anomalias de temperatura do ar, média global, referente ao período de 1961-1990. A Linha contínua representa a média móvel de 10 anos.....	10
2.2 - Tendências nas temperaturas mínima e máxima e amplitude térmica – DTR, durante o verão (DJF), inverno (JJA) e anual, no período 1960-2002. Sinais vazados expressam os resultados não significativos.....	15
2.3 - Zoneamento agroclimático para os cultivos de pêssego e de nectarina no Estado do Paraná.....	33
3.1 - Mesorregiões de cada Estado da Região Sul do Brasil.....	35
3.2 - Distribuição geográfica das 31 estações meteorológicas selecionadas na Região Sul do Brasil.....	39
3.2 - Emissões antropogênicas (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ e SO ₂) para os seis cenários ilustrativos SRES: A1B, A2, B1, B2, A1F1 e A1T, e o cenário IS92a.....	49
4.1 - Topografia da Região Sul do Brasil.....	60
4.2 - Temperatura média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	61
4.3 - Temperatura máxima média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	62
4.4 - Temperatura mínima média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	63

4.5-	Temperatura média sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	64
4.6 -	Temperatura máxima média sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	65
4.7 -	Temperatura mínima sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	66
4.8 -	Anomalias das temperaturas do ar, máxima e mínima, referentes ao período de 1961-1990, em nível anual, para os três Estados da Região Sul do Brasil. A linha contínua representa a anomalia média da região.....	67
4.9 -	Anomalia da Temperatura do ar, máxima e mínima, referente ao período de 1961-1990, em nível sazonal (verão – Dez/Jan/Fev), para os três Estados da Região Sul do Brasil. A linha contínua representa a média da região.....	70
4.10 -	Idem à Figura 4.9, porém para o Outono (Mar/Abr/Mai).....	71
4.11 -	Idem à Figura 4.9, porém para o Inverno (Jun/Jul/Ago).....	72
4.12 -	Idem à Figura 4.9, porém para a Primavera (Set/Out/Nov).....	73
4.13 -	Distribuição em nível anual das tendências das temperaturas máximas diárias da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em vermelho equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.....	77
4.14 -	Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (verão).....	78
4.15 -	Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (outono).....	79

4.16	Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (inverno).....	80
4.17	- Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (primavera).....	81
4.18	- Distribuição em nível anual das tendências das temperaturas mínimas diárias da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em vermelho equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.....	82
4.19	- Idem à Figura 4.18, porém em nível sazonal (verão).....	83
4.20	- Idem à Figura 4.18, porém em nível sazonal (outono).....	84
4.21	- Idem à Figura 4.19, porém em nível sazonal (inverno).....	85
4.22	- Idem à Figura 4.15, porém em nível sazonal (primavera).....	86
4.23	- Distribuição em nível anual das tendências da amplitude térmica diária da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em vermelho equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.....	87
4.24	- Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (verão).....	88
4.25	- Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (outono).....	89
4.26	- Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (inverno).....	90
4.27	- Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (primavera).....	91
4.28	- Temperaturas médias mensais, máxima (a) e mínima (b) de cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-2008. A linha contínua representa a média da Região Sul como um todo.....	93

4.29 -	Temperaturas médias mensais, máxima e mínima, das diferentes localidades da Região Sul do Brasil: Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), para o período de 1961-2008.....	94
4.30 -	Total anual de dias com temperaturas inferiores a 0°C (Índice <i>FD</i> – <i>Frost Day</i>), em cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil.....	96
4.31 -	Número total anual de dias com temperaturas inferiores a 0°C, nas seguintes localidades: Curitiba e Guarapuava - Paraná (a), São Joaquim e Caçador – Santa Catarina (b) e Bagé e Bom Jesus – Rio Grande do Sul (c).....	97
4.32 -	Total mensal de dias com temperaturas inferiores a 0°C em cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-2008.....	98
4.33-	Valores máximos de temperatura do ar (°C) em diferentes localidades do Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), considerando o período de 1961-2008.....	103
4.34 -	Valores mínimos de temperatura do ar (°C) em diferentes localidades do Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), considerando o período de 1961-2008.....	104
4.35 -	Ciclo anual da temperatura máxima do ar (°C) observada em estações meteorológicas (linha azul – contínua), simuladas pelo modelo regional HadRM3P (linha laranja – pontilhada), simulada por oito modelos globais e a média destes modelos globais, para o período de 1961-1990 na Região Sul do Brasil.....	107
4.36 -	Idem à Figura 4.35, porém para a temperatura mínima do ar (°C)....	107
4.37 -	Ciclo anual da temperatura máxima do ar (°C) observada em estações meteorológicas do RS (linha vermelha – contínua) e simulada pelo modelo HadRM3P (linha verde – pontilhada), considerando o período de 1961-1990.....	109

4.38 -	Idem à Figura 4.37, porém para as estações meteorológicas do PR e SC.....	110
4.39 -	Ciclo anual da temperatura mínima do ar (°C) observada em estações meteorológicas do RS (linha azul – contínua) e simulada pelo modelo HadRM3P (linha laranja – pontilhada), considerando o período de 1961-1990.....	111
4.40 -	Idem à Figura 4.39, porém para as estações meteorológicas do PR e SC.....	112
4.41 -	Representação da diferença de temperatura entre os dados observados em estações meteorológicas da Região Sul do Brasil e os dados simulados pelo modelo HadRM3P, ambos para o período de 1961-1990.....	113
4.42 -	Representação em nível sazonal da diferença de temperatura máxima do ar entre os dados observados em estações meteorológicas da Região Sul do Brasil e os dados simulados pelo modelo HadRM3P, ambos para o período de 1961-1990.....	115
4.43 -	Idem à Figura 4.42, porém para a temperatura mínima do ar.....	116
4.44 -	Projeções de temperatura do ar, máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) para o período 2071-2100 nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.....	118
4.45 -	Projeções de temperatura máxima do ar, para o período de 2071-2100, nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.....	120
4.46 -	Idem à Figura 4.45, porém para a temperatura média do ar.....	121
4.47 -	Idem à Figura 4.45, porém para a temperatura mínima do ar.....	122
4.48 -	Projeções mensais de temperatura máxima do ar, para o período de 2071-2100, nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.....	124
4.49 -	Idem à Figura 4.48, porém para a temperatura média do ar.....	125
4.50 -	Idem à Figura 4.48, porém para a temperatura mínima do ar.....	126

4.51	Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 1°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.....	130
4.52 -	Idem à Figura 4.51, porém para o decêndio 2.....	131
4.53 -	Idem à Figura 4.51, porém para o decêndio 3.....	132
4.54 -	Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 2°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.....	133
4.55 -	Idem à Figura 4.54, porém para o decêndio 2.....	134
4.56 -	Idem à Figura 4.54, porém para o decêndio 3.....	135
4.57 -	Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 3°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.....	136
4.58 -	Idem à Figura 4.57, porém para o decêndio 2.....	137
4.59 -	Idem à Figura 4.57, porém para o decêndio 3.....	138
4.60 -	Cenário atual do total de horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C, considerando o período de abril a setembro, para o Estado de Santa Catarina.....	140
4.61 -	Idem à Figura 4.60, porém para o cenário A2 do HadRM3P.....	141
4.62 -	Idem à Figura 4.60, porém para o cenário B2 do HadRM3P.....	141
4.63 -	Cenário atual do Zoneamento para a cultura de pêsego e de Nectarina, em Santa Catarina – Baixa Exigência. CNR significa <i>cultivar não recomendado</i>	143
4.64 -	Idem à Figura 4.63, porém para Alta Exigência.....	143
4.65 -	Zoneamento para a cultura de pêsego e de Nectarina, em Santa Catarina – para o cenário A2 – Baixa (a) e Alta (b) Exigência. CNR significa <i>cultivar não recomendado</i>	145
4.66 -	Idem à Figura 4.65, porém para o cenário B2 – Baixa (a) e Alta (b) Exigência.....	146

LISTA DE TABELAS

1.1 - Valor bruto da produção de lavoura permanente catarinense, 2003-2008 (mil R\$).....	5
3.1 - Descrição de cada uma das mesorregiões que compõem cada um dos Estados da Região Sul do Brasil, conforme distribuição na Figura 3.1.....	36
3.2 - Identificação das estações meteorológicas do Estado do Paraná.....	37
3.3 - Identificação das estações meteorológicas do Estado de Santa Catarina.....	38
3.4 - Identificação das Estações Meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.....	38
3.5 - Identificação das estações meteorológicas da Região Sul do Brasil com dados disponíveis para o período de 1961-1990.....	45
3.6 - Modelos de circulação geral Oceano-Atmosfera, cujas simulações climáticas (preparadas para o IPCC/AR4) foram consideradas no presente estudo.....	46
3.7 - Apresentação das estatísticas utilizadas..	47
3.8 - Descrição dos cenários de emissões de gases efeito estufa, A2 e B2..	49
4.1 - Número de anomalias anuais de temperatura máxima do ar com aumento superior a 1°C (significativos a um intervalo de 95% de confiança).....	68
4.2 - Eventos de estiagem na Mesorregião Oeste Catarinense entre 2001 e 2006.....	76
4.3 - Valores absolutos mínimos mensais e anual da temperatura mínima do ar (°C), no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	100

4.4 -	Valores absolutos máximos mensais e anual da temperatura máxima do ar (°C), no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.....	101
4.5 -	Valores absolutos mínimos e máximos mensais de temperatura do ar (°C) e os respectivos mês/ano de registro, no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil. Em destaque os eventos mais frequentes nas diferentes localidades.....	102
4.6 -	Coeficiente de correlação e raiz do erro quadrático médio (RMSE) entre a temperatura do ar média mensal observada e a simulada pelo modelo HadRM3P para a Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-1990.....	117
4.7 -	Total anual de horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C (abril e setembro) para o cenário atual e cenários futuros (2071-2100), A2 e B2.....	139
4.8 -	Reduções das áreas potenciais de plantio do pêssego e da nectarina decorrentes de aplicação dos cenários A2 e B2 em relação ao cenário atual.....	144

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A sociedade humana é extremamente dependente do clima de uma determinada região, tendo suas características sócio-econômicas moldadas e adaptadas aos diferentes padrões sazonais e anuais. Qualquer alteração nestes padrões climáticos, assim como nos principais processos físicos envolvidos neste tão complexo sistema, afeta a biodiversidade alterando o equilíbrio dos ecossistemas. Em vista disso, obter conhecimentos detalhados das condições climáticas atuais e futuras, de uma determinada região, tem sido uma ferramenta de grande importância para planejamentos estratégicos de crescimento econômico e mitigações de impactos futuros. Na Região Sul do Brasil não poderia ser diferente, uma vez que o conhecimento detalhado dos padrões climáticos atuais e futuros contribui para a manutenção e a reestruturação de uma das principais atividades econômicas da Região: a agricultura. Considerando que esta atividade é responsável pela subsistência de um grande número de famílias, quanto mais detalhada e específica for a descrição do comportamento das variáveis meteorológicas (a longo e a curto prazos), mais eficientemente podem ser mitigados os possíveis impactos e efeitos prejudiciais à economia desta região.

Quando se fala de aquecimento global e de mudanças climáticas globais, volta-se a atenção para as variações atuais dos gases de efeito estufa, em especial do dióxido de carbono. Não se pode esquecer a grande importância destes gases para a evolução da vida na atmosfera, pois sem o efeito gerado por eles, conhecido como *efeito estufa*, a atmosfera seria totalmente fria e não apresentaria condições propícias à existência de vida. Portanto, o que é prejudicial ao meio em que vivemos é a *intensificação* do efeito estufa, relacionada ao aumento excessivo na concentração dos gases de efeito estufa. O foco de diferentes pesquisas tem sido precisar o quanto as modificações do clima, em função das alterações de gases na atmosfera, podem ser prejudiciais ou benéficas aos diferentes setores sociais e econômicos. Além disso, muitos estudos buscam investigar até que ponto o aumento na concentração desses gases pode causar de impacto na

variabilidade do clima atual e futuro como, por exemplo, no aumento acentuado da temperatura do ar.

De acordo com os relatórios do IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - (IPCC, 2007), já é evidente o aumento na temperatura média global do ar e do oceano, ocasionando o derretimento das geleiras e alterando o nível médio do mar. Em escalas continental e regional, numerosas mudanças em longo prazo foram observadas no clima. Tais mudanças incluem alterações na temperatura do Ártico, nos regimes de precipitação, nos padrões de vento e acarretam uma frequência maior e mais intensa de eventos extremos, tais como secas, enchentes, ondas de calor e ciclones tropicais.

Em diferentes partes do globo são amplos e bastante diversificados os resultados relativos a alterações climáticas atuais e a registros de eventos extremos; logo, quanto maior o detalhamento destes resultados, em níveis regionais, maior será o conhecimento das peculiaridades de cada localidade. A determinação dos padrões climáticos de uma região específica é imprescindível para caracterizar seus respectivos padrões anômalos e extremos. Desta forma, as ações para a mitigação destes resultados poderão ser mais eficientes.

O estudo do clima não precisa e não deve abordar apenas análises da variabilidade climática ou das mudanças climáticas atuais. É preciso que sejam realizados também estudos de projeções futuras, especialmente em nível regional, para que se possa então determinar a vulnerabilidade de diferentes setores (agrícola, recursos hídricos, saúde) às mudanças globais futuras. Aumentar o grau de informações com relação a estas alterações, especialmente em nível regional, tem sido um grande desafio.

Estudos têm mostrado que as condições climáticas futuras, em especial o aumento gradual da temperatura do ar, poderão acarretar impactos substanciais em diferentes atividades agrícolas, tais como a fruticultura e o plantio de grãos (LUO et al., 2005; RICHERT; SEMENOV, 2005; ZHANG; LIU, 2005; MACHADO, 2009; CRUZ et al., 2009; PANDOLFO, 2010). Diferentes têm sido os resultados observados, por vezes,

relacionados a alterações das regiões aptas ao plantio, enquanto outros abordam como as condições climáticas exercem influência sobre o tipo e qualidade de cultivar.

Segundo Assad e Pinto (2008), a configuração da produção agrícola brasileira pode mudar significativamente nos próximos anos em decorrência do aquecimento global. Se nada for feito para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e para adaptar as culturas à nova situação, regiões que atualmente são as maiores produtoras de grãos não mais estarão aptas ao plantio bem antes do final do século. Os autores afirmam que a Região Sul, que hoje é mais restrita às culturas adaptadas ao clima tropical por causa do alto risco de geadas, deve experimentar uma redução desse evento extremo, ficando assim com mais áreas, de baixo risco, propícias ao plantio dessas culturas. A expectativa é que nas próximas décadas a migração de culturas faça com que a produção agrícola do país gere uma nova ordem geográfica.

O uso de cenários agrícolas, simulando-se as mudanças climáticas, permite estimar os impactos destas mudanças na agricultura e propor estratégias de atuação por parte dos envolvidos no setor agrícola, desde o governo até o setor privado: permitindo propor, principalmente, o desenvolvimento de pesquisas em melhoramento genético, manejo agrícola e escolha de espécies promissoras adaptadas aos novos panoramas climáticos (PANDOLFO et al., 2007A). No entanto, os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes podem ser positivos, negativos ou neutros, pois as mudanças climáticas podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre diferentes problemas fitossanitários (HAMADA et al., 2005). Uma das técnicas adotadas para um melhor planejamento e infraestrutura regional é o zoneamento agrícola, o qual é utilizado a fim de delimitar regiões onde as condições do meio ambiente, do solo e do clima caracterizem a maior probabilidade possível de sucesso em termos de produtividade e rentabilidade para um determinado cultivar (MACHADO, 2009).

A Região Sul do Brasil se destaca em nível nacional por ser uma das regiões onde a economia é altamente dependente das atividades agrícolas. No entanto, existe uma estreita ligação entre as modificações climáticas e o ciclo de vida de determinadas

culturas. Qualquer tipo de alteração climática ou de registro de extremos causa impacto tanto para os pequenos como para os grandes produtores.

Muitos dos impactos regionais correlacionam-se com a variabilidade climática que é registrada ano a ano, por vezes relacionada aos fenômenos El Niño (aquecimento das águas do Oceano Pacífico) e La Niña (esfriamento das águas do Oceano Pacífico). Segundo Lima e Alves (2008), na Região Sul do Brasil o registro de extremos climáticos, como enchentes e estiagens prolongadas, está relacionado a estes fenômenos. Pela estatística disponível para as últimas duas décadas, a cada dez safras, quatro foram afetadas por eventos de seca. A precipitação total acumulada em três meses do verão de 2004/2005 foi menor que 200 mm em grande parte do Rio Grande do Sul, a menor dos últimos 53 anos (BERLATO; CORDEIRO, 2005). Segundo esses autores, a forte estiagem ocasionou uma quebra na safra de grãos, que no Brasil foi da ordem de 20 milhões de toneladas.

O consumo brasileiro de frutas tem crescido sistematicamente nos últimos anos (CEPA, 2010), pois além da venda *in natura*, as frutas representam mais uma opção para o setor produtivo, à medida que a matéria prima é disponibilizada para o setor de processamento e é transformada em doces, compotas, geléias, frutas cristalizadas, frutas secas, sucos, sorvetes, licores, dentre outras. Isto possibilita ao segmento produtivo mais uma opção para agregação de valor e renda. Devido às características climáticas peculiares da Região Sul do Brasil, muitas das culturas com necessidades de frio se adaptam bem nesta região quando se considera os padrões de clima atuais. A uva, a maçã, o pêssego e a nectarina são exemplos de fruticulturas de significativa expressão econômica em regiões de clima temperado. Segundo informações do Instituto Cepa (Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola) é fato que o setor de fruticultura do Estado de Santa Catarina tem se destacado no cenário nacional. O Estado catarinense possui condições favoráveis de clima, distribuição de chuvas e de temperaturas para a exploração da fruticultura de clima tropical (banana, laranja e maracujá) e temperado (maçã, pêssego, ameixa, uva, caqui, kiwi, nectarina e pêssego).

O pêssgo e a nectarina, cujas exigências bioclimáticas estão relacionadas à incidência de frio, têm sido culturas expressivas na economia do Estado de Santa Catarina (Tabela 1.1). Segundo dados do IBGE (2010), a produção média catarinense no período de 2006 a 2009 foi de 16.431 toneladas/ano cultivadas em cerca de 2.000 ha/ano, em média.

Tabela 1.1 – Valor bruto da produção de lavoura permanente catarinense, 2003-2008 (mil R\$).

Produto	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Lavoura permanente						
Banana	128.130	176.003	163.883	181.745	230.752	192.408
Erva-mate	7.666	5.793	5.644	5.840	8.090	11.253
Laranja	27.199	17.678	19.428	18.612	23.192	31.659
Maça	296.855	252.955	260.080	477.157	385.590	449.798
Maracujá	3.458	2.486	2.352	2.533	2.543	3.299
Palmito	4.662	3.108	7.086	7.103	3.000	5.984
Pêra	1.324	1.197	1.662	2.641	2.336	3.205
Pêssego	13.148	22.621	20.387	20.087	12.923	22.339
Tangerina (bergamota, mexerica)	2.396	2.738	3.104	2.413	3.200	2.562
Uva (para mesa)	23.813	29.749	34.157	33.359	56.111	57.649
Subtotal	508.651	514.328	517.783	751.490	727.737	780.156

Fonte: Cepa (2010).

Com o propósito de contribuir para um melhor desenvolvimento econômico da Região Sul do Brasil, o presente estudo visa servir de subsídio para uma compreensão maior das alterações nos padrões climáticos atuais e futuros. Para tanto, o objetivo principal é encontrar resultados que descrevam como o clima tem se modificado ao longo dos anos, em relação à temperatura do ar, e as respectivas projeções futuras que podem ser esperadas ao considerar dois diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa para a Região Sul do Brasil. Especificamente, pretende-se identificar como as alterações encontradas irão causar impactos nas regiões de maior risco climático de determinadas culturas, com um exemplo de aplicação para os cultivos de pêssgo e de nectarina (Figura 1.1). A grande preocupação do agricultor é poder minimizar os prejuízos provocados pelas novas condições climáticas de sua região, assim como poder adaptar-se aos novos cenários que serão projetados. Em vista disso, os objetivos específicos deste estudo são:

- estabelecer padrões climáticos atuais de temperatura do ar, em níveis mensais e sazonais, para cada um dos Estados da Região Sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul);
- estabelecer padrões anômalos e extremos de temperatura do ar, para os três Estados da Região Sul do Brasil, tanto em nível mensal quanto sazonal;
- estabelecer cenários climáticos futuros de temperatura do ar para a Região Sul do Brasil, simulados pelo modelo regional HadRM3P, que faz parte do Sistema Integrado de Modelagem Regional PRECIS (*Providing REgional Climates for Impacts Studies*), do governo britânico, levando em conta dois diferentes cenários de emissões A2 e B2 (2071-2100);
- produzir cenários agrícolas, tendo como ênfase os cultivos de pêssego e de nectarina para cenários futuros de clima (2071-2100), para dois cenários extremos de emissões (A2 e B2).

Para atingir os objetivos propostos, no Capítulo 2 são revisados os principais conceitos e avanços relacionados às projeções climáticas regionais e seus respectivos impactos na agricultura. Os dados utilizados e a metodologia abordada no trabalho são descritos em detalhes no Capítulo 3. Os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 4, no qual são abordados primeiramente os padrões climáticos atuais da Região Sul do Brasil, após as projeções futuras e, por fim, os cenários agrícolas. Finalmente, no Capítulo 5 são sumarizados os resultados e apresentadas recomendações para estudos futuros.

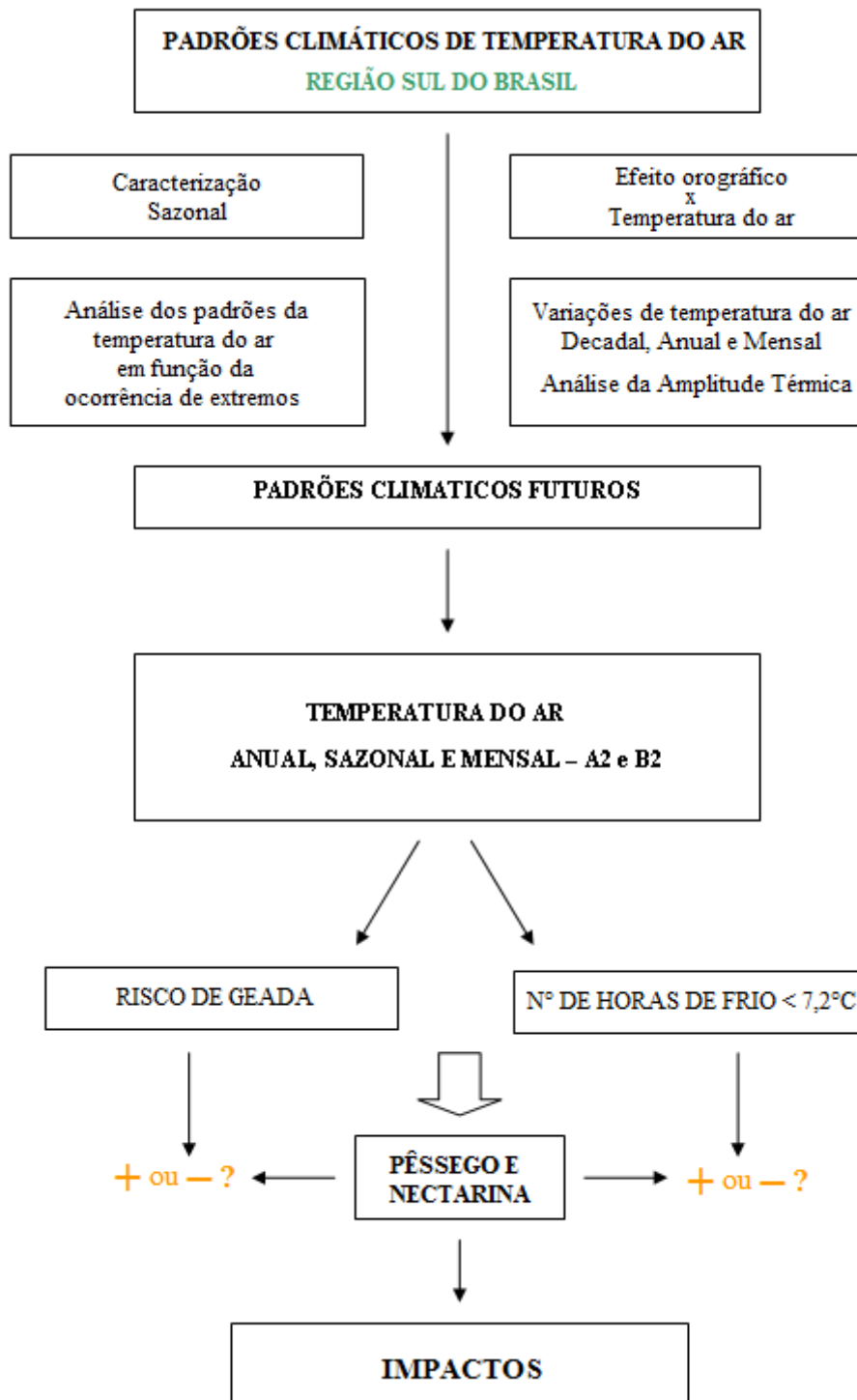


Figura 1.1 – Síntese dos principais objetivos propostos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mudanças Climáticas e Fundamentos Teóricos

Mudanças climáticas correspondem a todas as formas de alteração do clima médio de uma determinada região, independentemente da sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas. Diferentes são os elementos que poderão servir de ferramentas para a detecção destas alterações, tais como a temperatura do ar, o vento, a precipitação, a nebulosidade, entre outros fenômenos climáticos.

A detecção e atribuição de causas das alterações climáticas resultantes de diversas mudanças naturais e humanas são um dos temas mais discutidos em pesquisas climatológicas. Desde a década de 1980, o interesse por maiores conhecimentos relacionados a mudanças climáticas tem sido crescente. Em 1988, foi estabelecido o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change). O *IPCC* é uma vasta rede de cientistas dedicados à avaliação do conhecimento científico sobre mudanças climáticas e suas ligações com a sociedade humana (IPCC, 2007).

O aquecimento global detectado na grande maioria das pesquisas dos últimos 25 anos pode ser resultado de um grande número de fatores, que muitas vezes podem contribuir para identificação das alterações climáticas em nível regional. A intensificação do *Efeito Estufa* é um dos fatores mais discutidos, principalmente em decorrência do grande avanço industrial e do forte desenvolvimento das grandes áreas urbanas (QUINTANA-GOMEZ, 1999).

Há evidências de que as atividades humanas tenham contribuído para o aumento do conteúdo atmosférico de muitos gases de efeito estufa. Os gases constituintes da atmosfera que contribuem para o *efeito estufa* são o vapor d'água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o ozônio (O₃), o óxido nitroso (N₂O) e os compostos de clorofluorcarbono (CFC), que são capazes de absorver a radiação de onda longa emitida pela superfície, causando um aquecimento na troposfera e podendo também provocar mudanças permanentes e irreversíveis no clima. Entre estes gases, o dióxido de carbono é o que possui o efeito mais direto sobre o balanço radiativo entre a superfície e a atmosfera. A concentração do dióxido de carbono atmosférico aumentou de cerca de 280 partes por milhão (ppm), no período pré-industrial (aproximadamente 1960), para 365 ppm em 1998 e está crescendo a uma taxa de 1,5 ppm/ano, alcançando em 2009 um nível nunca registrado antes: 386,27 ppm (NASA, 2010). Os impactos climáticos e sociais do aumento da concentração do CO₂ atmosférico têm preocupado a comunidade científica por mais de um século. Inúmeras simulações feitas com modelos de circulação geral concordam que a duplicação da concentração de CO₂ resultaria num aquecimento global médio na superfície da Terra entre 1,5 e 4,5 °C (IPCC, 2007).

Ao analisar a variabilidade da temperatura do ar com o passar dos anos, observa-se que as duas últimas décadas têm se destacado pelas elevadas anomalias de temperatura média global do ar (*CLIMATE RESEARCH UNIT*, 2009). Embora o ano de 1998 tenha sido o mais quente do período, 0,55 °C acima do normal (referente ao período 1961-1990), os anos mais recentes estão inseridos entre os anos com maiores anomalias de temperatura do ar. O ano de 2009 foi o sexto ano mais quente, excedido apenas pelos anos de 1998, 2005, 2003, 2002, 2004 (Figura 2.1).

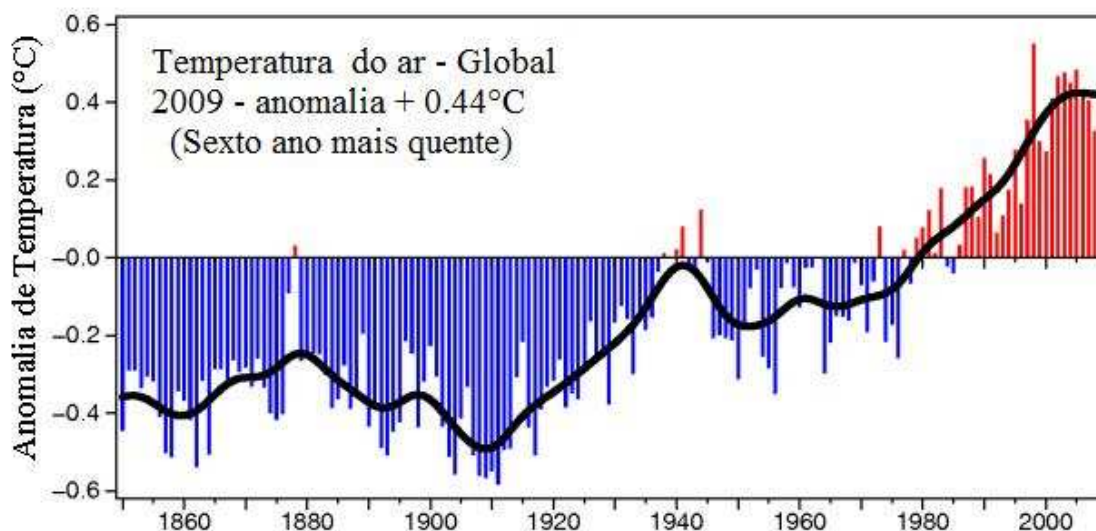


Figura 2.1 – Anomalias de temperatura do ar, média global, referente ao período de 1961-1990. A Linha contínua representa a média móvel de 10 anos.

Fonte: Climate Research Unit (2009).

Muitas das vezes o aquecimento é acompanhado por um ciclo hidrológico global intensificado e também por mudanças profundas no clima regional. Tanto em experimentos de equilíbrio como em transientes, não são importantes apenas as mudanças diretas no aquecimento radiativo, mas também os vários efeitos complexos de “feedback” devem ser tratados e isto torna as simulações ainda mais difíceis (TRENBERTH, 1990). Assim, mudanças na frequência e intensidade de El Niño ou La Niña, ou na intensidade do ciclo hidrológico já podem estar acontecendo. Segundo o IPCC, vários processos físicos têm sido identificados em experimentos com modelos de clima global, os quais tendem a contribuir com a magnitude da resposta do sistema climático em relação ao aumento do CO₂. Além disso, a variabilidade climática de uma região pode ser fortemente influenciada por padrões de teleconexões originados por anomalias forçantes em regiões distantes, tais como El Niño-Oscilação Sul (ENSO). Segundo Cobb et al. (2003), ainda é difícil prever qual será a resposta do aquecimento a estes fenômenos climáticos.

Nos tempos atuais, o grande desafio das pesquisas em mudanças climáticas é a análise da vulnerabilidade, dos impactos e da adaptação de diferentes setores aos novos padrões de clima. Por isso, é grande o interesse político e social na ampliação dos conhecimentos de como e de que forma as mudanças do clima estão alterando, ou poderão influenciar os setores agrícolas, agropecuários, elétricos, hidrológicos, da saúde, do transporte, entre outros.

2.2 Eventos Extremos

Muitos impactos das mudanças climáticas talvez sejam mais intensos quando relacionados a eventos extremos. O aumento na frequência e intensidade de muitos eventos climáticos extremos pode ter efeitos adversos em diferentes setores e regiões, podendo acarretar excessivas perdas econômicas ou de vidas, ou ambas.

A vulnerabilidade da sociedade e das atividades humanas a extremos climáticos é demonstrada pelos danos e prejuízos, sofrimentos e até mesmo mortes, causados por eventos tais como: secas, enchentes, ondas de calor, avalanches e tempestades. Segundo o relatório do IPCC (2007), alguns eventos extremos tendem a aumentar em frequência e/ou severidade durante o século XXI devido a mudanças na média e na variabilidade do clima; assim, pode-se esperar que a severidade de seus impactos possa também aumentar de acordo com o aquecimento global.

Desde muitos anos atrás estudos já mostravam que um aumento na variabilidade e na frequência de eventos extremos teria maior impacto que em relação a mudanças nas médias climáticas (KATZ E BROWN (1992), por exemplo). Com o passar dos anos estes resultados foram se confirmando, as perdas econômicas e humanas em decorrência de eventos climáticos extremos têm aumentado, fazendo com que este tema tenha recebido cada vez mais atenção. Um dos grandes desafios dos estudos atuais é averiguar o comportamento espacial e temporal destes eventos extremos, assim como obter subsídios para que em curto espaço de tempo seja possível identificar futuras ocorrências de tais eventos.

Historicamente, análises em níveis regionais demonstram como estes eventos têm sido registrados. Seluchi e Marengo (2000) relacionaram a ocorrência de ondas de frio a condições de congelamento nas zonas cafeicultoras dos Estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Sendo o Brasil um dos maiores produtores de café, estes impactos resultaram em acentuados prejuízos. Em um estudo de análise histórica de variabilidade climática, Marengo (2001a) observou que a quantidade de ondas de frio diminuía com o tempo e que as temperaturas médias de inverno mostram tendência de elevação. Em 106 anos, de 1890 a 1996, foram registrados 18 eventos graves que danificaram a produção de café. Destes, cinco foram considerados catastróficos e a maior incidência foi no mês de julho, sem desmerecer a atenção aos meses de junho e agosto.

Eventos documentados por Marengo (2001b) que causaram prejuízos para a produção de café foram as geadas de julho de 1975 e de junho e julho de 1994, pois reduziram o volume da produção em mais de 50%, aumentando o preço do café em mais de 40%. No evento de 1975, as temperaturas caíram a $-4,5^{\circ}\text{C}$ na região oeste do Estado de São Paulo. Impactos originados por estes resfriamentos vêm sendo identificados desde o fim do século XIX. Assim, é necessário ter uma estatística consistente do número de frentes frias, de incursões de ar frio e de geadas para o clima do presente, para posteriores análises de previsões de cenários futuros, assim como possíveis impactos na agricultura do Sul do Brasil.

Vincent et al. (2005) observaram tendências de elevação associadas principalmente à temperatura noturna. Segundo esses autores, não houve, por meio dos índices empregados, detecção de alterações significativas nos dados de temperatura máxima do ar (1960/2000) em diferentes pontos da América do Sul. Em um estudo similar, Alexander et al. (2006) analisaram dados globais extremos de temperatura do ar e identificaram significativa elevação nas temperaturas noturnas em 70% das regiões analisadas. Os resultados mostram tendências positivas na frequência de noites quentes (TN90P, porcentagem de dias com $\text{TMin} > 90\%$), de noites medianamente quentes (dias com $\text{TMin} > 20^{\circ}\text{C}$) e tendências negativas na frequência de noites frias (TN10P, porcentagem de dias com $\text{TMin} < 10\%$) e na amplitude térmica diária, no período 1960-2000. Eles também identificaram tendências positivas na frequência de noites quentes

durante o verão DJF e inverno JJA, assim como uma fraca tendência negativa de aumento na frequência de dias frios.

Dufek e Ambrizzi (2006), utilizando séries de temperatura máxima do ar indicaram que no Estado de São Paulo há indícios de tendências para uma condição atmosférica mais quente. Os autores afirmam que particularmente para as regiões norte e central do Estado, essa elevação está associada à diminuição de dias frios nos anos de 1990 a 2002, sendo mais severa no período de inverno.

Estudos realizados por Camargo et al. (2006), utilizando séries históricas de dados meteorológicos, mostraram um forte aumento da temperatura do ar ao longo dos anos no Estado de Santa Catarina, com destaque para a década de 90, tal como em nível global. Estas análises foram de fundamental importância para avaliar os impactos causados pelas alterações do clima nas atividades econômicas do Estado catarinense (CAMARGO et al., 2006). Segundo os autores, assim como os valores extremos de temperatura do ar estão aumentando, os extremos de temperatura mínima, de frio extremo, também têm ocorrido com intensidade maior nos últimos anos, porém com espaçamento maior entre um evento e outro.

Marengo e Camargo (2007), ao analisarem as variações das temperaturas máxima e mínima, para a Região Sul do Brasil, no período de 1960-2002, observaram um aquecimento sistemático sobre a região, detectando tendências positivas na temperatura máxima e mínima em níveis anual e sazonal (Figura 2.2). A amplitude térmica apresentou tendências negativas fortes neste período, sugerindo que as tendências na temperatura mínima foram mais intensas que as máximas, especialmente no verão. Isto também foi detectado por Gonçalves et al. (2002) para São Paulo. Rusticucci e Barrucand (2004) mostraram tendências negativas na amplitude térmica diurna devido a tendências positivas pronunciadas na temperatura mínima. As análises de Marengo e Camargo (2007) sugerem que o aquecimento observado parece ser mais intenso no inverno em comparação ao verão, e possivelmente devido ao aumento de número de dias quentes no inverno.

Cruz et al. (2009), ao analisarem os extremos de temperatura mínima do ar registrados em Santa Catarina no período de 1977-2006 tendo como referência o número de horas de frio com temperatura do ar menor ou igual a 7,2°C, observaram que o *inverno* ainda é a estação do ano com acúmulo maior de horas de frio, porém está havendo uma diminuição do frio com o passar dos anos. A primavera, por sua vez, destacou-se por apresentar aumento da intensidade e frequência de HF em anos mais recentes, ou seja, isto mostra que o frio tende a se deslocar para esta estação (frio e geadas tardias).

Blain (2010), utilizando testes estatísticos paramétricos e não paramétricos, também indicou consideráveis elevações nas séries anuais de temperatura mínima do Estado de São Paulo. Porém, segundo os autores, tanto a data inicial dessas elevações, quanto a significância das mesmas são muito distintas entre as diferentes localidades. Um exemplo, são os resultados mostrados por Sansigolo (2008) que ao analisar valores extremos das temperaturas máximas e mínimas, não detectou, com 95% de probabilidade, tendências climáticas significativas na série de Piracicaba, interior de São Paulo.

A variabilidade climática de uma determinada região influencia de forma direta a disponibilidade de água. Muitas vezes os ciclos anuais de uma determinada bacia hidrográfica também são influenciados por forçantes externas. Conforme citado anteriormente, o El Niño e La Niña são exemplos clássicos. Eventos severos de secas já foram registrados em diferentes partes do Brasil, como em 1877, 1983 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no Centro-Oeste e Sudeste, e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO; DIAS, 2006; MARENGO, 2007; MARENGO et al., 2008 a, b).

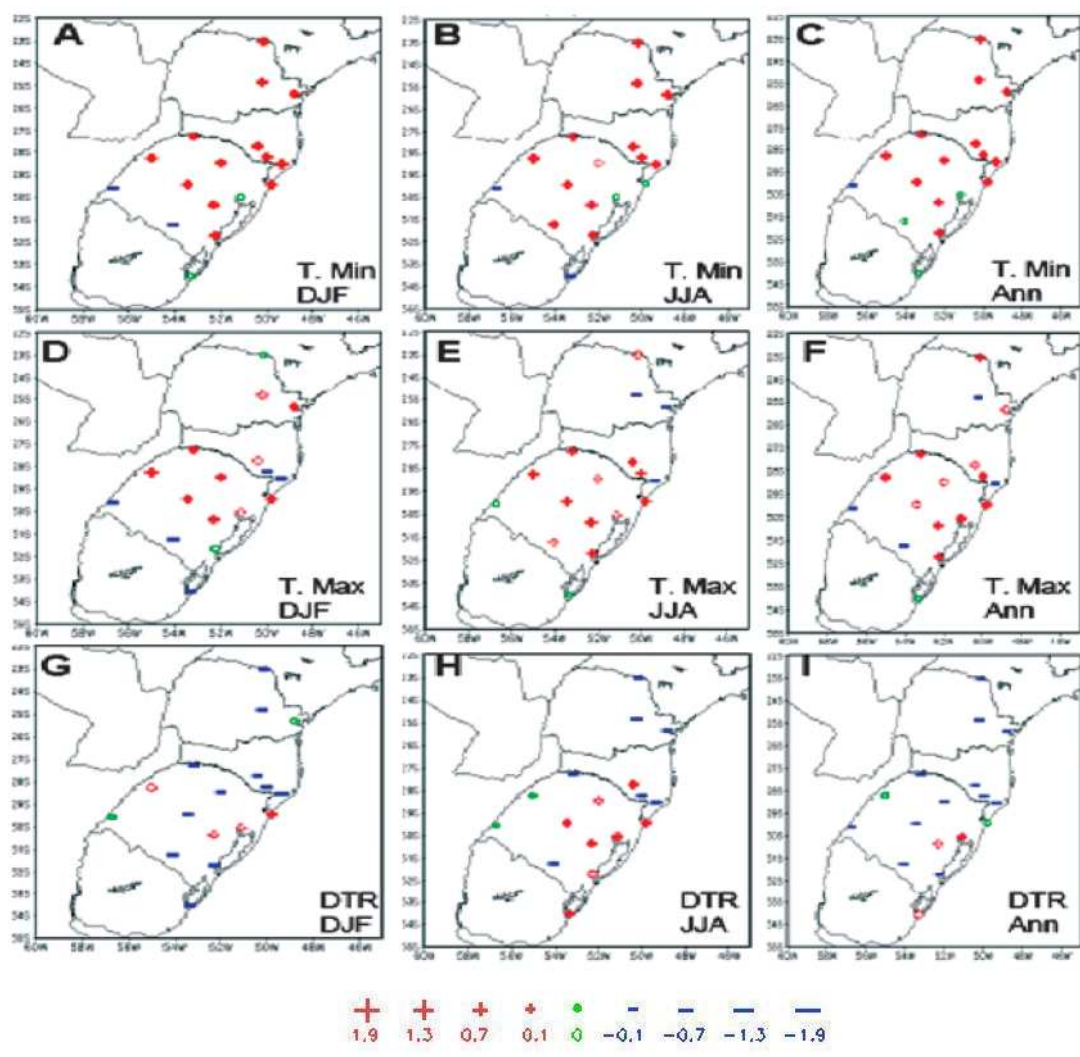


Figura 2.2. Tendências nas temperaturas mínima e máxima e amplitude térmica – DTR, durante o verão (DJF), inverno (JJA) e anual, no período 1960-2002. Sinais vazados expressam os resultados não significativos.

Fonte: Marengo e Camargo (2007).

Nos últimos anos, foram observados, com maior freqüência, extremos de precipitação, períodos de estiagem mais prolongados, assim como foram registrados episódios intensos de chuva. Considerando que estes eventos, tanto em longo prazo (estiagens) como em curto prazo (enxurradas) causam impactos drásticos econômica e socialmente, a comunidade científica tem dado maior ênfase a este tema. Lamentavelmente, a falta de observações climáticas em longo prazo, consistentes e homogêneas, ainda é motivo de

restrição a muitos dos avanços em relação à quantificação das mudanças extremas de precipitação (HAYLOCK et al., 2005; VINCENT et al., 2005).

Os resultados propostos por Cubash e Kasang (2001) e Houghton (2003) mostram que se pode assumir que em regiões com aumento de precipitação haverá também maior registro de chuvas intensas, devido a maior capacidade da atmosfera de absorver umidade, elevando assim a quantidade de vapor d'água absoluto, o que implicaria na intensificação do ciclo hidrológico e maior probabilidade na ocorrência de eventos extremos.

Silva e Guetter (2003) observaram mudanças ligadas ao ciclo hidrológico e à temperatura no Estado do Paraná. Alguns municípios apresentaram gradativamente, desde meados da década de 1970, intensificação localizada da precipitação e aumento do número de dias com chuvas intensas.

Lyon (2003) reportou as chuvas intensas que foram registradas na costa central da Venezuela em dezembro de 1999, causando inundações e deslizamentos. Segundo Carvalho et al. (2004), os eventos extremos de chuva respondem a uma variabilidade interanual ligada a eventos de El Niño e La Niña do mesmo modo, as variações de chuva intra sazonais estão associadas à atividade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e do Jato de Baixos Níveis da América do Sul (SALLJ).

Groisman et al. (2005) identificaram tendências positivas de aumentos de chuva e de extremos de chuva na região subtropical do Brasil, Sul do Brasil e Nordeste. Os resultados mostram que o Sudeste do Brasil tem apresentado aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas desde 1940, de até quase 58%/100 anos.

O estudo de Alexander et al. (2006) mostrou tendências positivas na chuva máxima acumulada em 5 dias (RX5day) nas latitudes maiores de 20°S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto que algumas áreas do norte da Argentina apresentaram tendências negativas durante o inverno.

Haylock et al. (2006) investigaram tendências de extremos de chuva no Sudeste da América do Sul no período de 1960-2000, tendo encontrado tendências para condições mais úmidas no Sul do Brasil, no Paraguai, no Uruguai e no Norte e Centro da Argentina. Os resultados mostraram tendências positivas nos índices de precipitação R10mm, R20mm, R95P e R99P, sugerindo que a região Sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e frequência de dias com chuvas intensas, o que concordou com os trabalhos de Groissman et al. (2005) para a mesma região.

As alterações em relação aos regimes de precipitação estão fortemente relacionadas a perdas agrícolas e a problemas de abastecimento de água, por isso a importância de um número maior de estudos com peculiaridades regionais. Segundo Camargo et al. (2006), na maioria das regiões no Estado catarinense, os totais anuais de precipitação apresentam uma tendência de aumento com o passar dos anos. Destaca-se, porém, que embora os totais de precipitação estejam aumentando, o número de dias consecutivos sem chuva também tem aumentado nos últimos anos. Ou seja, aumentou a ocorrência de eventos extremos de chuvas, isto é: chuvas acima de 100 mm têm sido mais frequentes, porém com períodos mais distanciados entre um evento e outro.

As projeções de extremos sugerem para boa parte do Brasil aumento na frequência de extremos de chuva e temperatura do ar (MEEHL et al., 2007; TEBALDI et al., 2007). Marengo (2007), em concordância aos resultados acima, sugeriu que os possíveis cenários de aumento de chuvas no Sul do Brasil, projetados até finais do século XXI, poderiam ser na forma de eventos extremos de chuva intensos e mais frequentes.

O aumento sistemático das chuvas pode também ser observado nos registros hidrológicos, nos quais as vazões do Rio Jacuí, em Espumoso e em Passo Bela Vista, no Rio Grande do Sul, apresentam tendências positivas (MARENGO, 2007). O mesmo pode ser dito em relação às vazões do rio Paraná, no seu trecho inferior, no Uruguai e no Paraguai, e no Rio Paraná, em Corrientes (TUCCI, 2003).

2.3 Projeções de Cenários Climáticos

Os modelos climáticos são ferramentas de modelagem tradicionalmente utilizadas para a produção de cenários e projeções de mudanças climáticas. São ferramentas comumente adotadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras, provendo-se de uma visão tridimensional do sistema climático. Descrevem, também, os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação (MARENGO; DIAS, 2006).

Vera et al. (2006) utilizando seis modelos globais acoplados do IPCC AR4 para o clima presente e cenários futuros (A1B) identificaram resultados semelhantes a outros estudos: as discrepâncias na posição e intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se refletem diretamente na quantidade de chuvas sobre as bacias da Amazônia e do Prata, aumento da chuva de verão sobre o norte dos Andes e sudeste da AS, e a diminuição desta ao longo do sul dos Andes chilenos e argentinos em todas as estações.

Nobre et al. (2007, 2008) estudaram as projeções potenciais na alteração dos biomas da América do Sul, como consequência das mudanças climáticas. Os autores utilizaram as simulações de 16 modelos climáticos globais do IPCC AR4 e modelo de vegetação potencial do CPTEC/INPE para gerar cenários de precipitação e temperatura mensais para um período que vai de 2070 até 2099, considerando dois cenários de emissões de CO₂. Os resultados indicaram altas probabilidades de ocorrência de mudanças dos biomas, principalmente no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil, como um processo de substituição da floresta amazônica por vegetação de cerrado e a substituição da vegetação de caatinga no sertão do Nordeste por vegetação de regiões áridas. Segundo Nobre et al. (2008), o aumento de temperatura induz a uma maior evapotranspiração (soma da evaporação da água à superfície com a transpiração das plantas), reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Esse fator pode por si só desencadear a substituição dos biomas existentes por outros mais adaptados a climas com menor disponibilidade hídrica para as plantas (por

exemplo, savanas tropicais substituindo florestas tropicais, caatinga substituindo savanas tropicais, semideserto substituindo caatinga).

Marengo (2007) analisou cinco modelos do IPCC para a região do Brasil e verificou para cenários futuros (A2 e B2) que alguns modelos apresentaram dificuldades em simular a banda chuvosa associada a ZCAS, enquanto que o HadCM3 mostrou resultados favoráveis à representação desta zona de convergência. Verificou que o HadCM3 manteve a ZCAS intensa no cenário B2; porém, reduziu a chuva sobre a Amazônia e Nordeste no cenário A2.

Valverde e Marengo (2010) analisaram mudanças nos possíveis padrões de circulação que poderão ser observados no clima da América do Sul, como consequência do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. Os autores utilizaram cinco modelos globais do IPCC, para o clima do século XX (1961-1990) e para o cenário futuro *SRES_A2* (2011-2100). De modo geral, os resultados mostram um deslocamento para o sudeste da baixa continental (associada à baixa do Chaco) e um deslocamento para o noroeste da Alta da Bolívia, ambos com destaque na primavera e no verão. Outra particularidade importante observada foi em relação à configuração da ZCAS, sistema caracterizado pela formação de uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central por alguns milhares de km, bem caracterizada nos meses de verão. Dentre os modelos analisados do IPCC AR4, o HadCM3 apresentou estas características melhor definidas, embora apresente um deslocamento para o nordeste.

Os modelos climáticos globais têm uma capacidade de resolução bastante limitada, acima de 300 km, enquanto que os modelos regionais (10-50 Km) são muito úteis para cenários de mudanças climáticas de alta resolução. O uso dos modelos de escala regional possibilita identificar variações e particularidades de uma determinada região, já que as informações apresentam-se de forma mais detalhadas, tornando-se uma ferramenta indispensável para estudos de impactos locais.

A habilidade dos modelos em reproduzir características regionais do clima foi amplamente testada mediante simulações para várias regiões do mundo com diferentes

regimes climáticos (LIU et al., 1994; KATO et al., 1999; SUN et al., 1999; SMALL et al., 1999; SOLMAN; NUÑEZ, 1999; HUDSON; JONES, 2002; JONES et al., 2004; JONES et al, 2005; ALVES, 2007; SOLMAN et al., 2008; MARENGO et al., 2009 a, b; URRUTIA; VUILLE, 2009; PESQUERO et al. 2009; VALVERDE; MARENGO, 2010). De maneira geral, os resultados mostraram que o desempenho de cada modelo varia conforme a estação do ano, a topografia e a localização da região de estudo.

No Brasil, destaca-se em modelagem climática o grupo de pesquisas em mudanças climáticas do INPE, o qual, através do projeto PROBIO-GEF, tem produzido cenários para o clima presente e futuro utilizando, além do modelo global, três diferentes modelos regionais: Modelo *HadRM3P*, Modelo *Eta/CCS* e Modelo *RegCM3*, detalhados em Marengo et al. 2009a.

Os cenários climáticos do futuro produzidos pelo IPCC (IPCC, 2007) e por Marengo et al. (2009a), com diferentes concentrações de gases de efeito estufa, mostram que a Região Sul apresenta aquecimento no verão e no inverno, ainda que as magnitudes de aquecimento não sejam intensas como na Amazônia, onde o aquecimento é maior com relação às temperaturas médias. Em comparação, a Região Sul parece ser mais beneficiada em termos de chuva, já que os diversos cenários do IPCC apontam para um aumento nas precipitações até finais do século XXI, porém sem indicar se as características extremas destas precipitações variam ou não em relação ao clima do presente.

Utilizando simulações de modelos regionais, Marengo (2007) realizou uma análise detalhada de eventos extremos sobre a América do Sul. Segundo o autor, no Brasil, são perceptíveis variações interdecadais de períodos relativamente mais secos ou chuvosos. Segundo Salazar et al. (2007), as projeções futuras mostram que, até meados do século XXI, poderá haver uma substituição gradual da floresta tropical por savana no leste da Amazônia em função do aumento da temperatura do ar e das reduções de chuva e de vazões de rios.

Mudanças na circulação média e em variáveis de superfície (temperatura do ar e precipitação) relativas às simulações de três diferentes modelos climáticos regionais também foram investigadas por Marengo et al. (2009a). Em ambos os modelos, no sul do America do Sul, os resultados mostraram um aquecimento maior no inverno do que no verão, com variações de 3 a 5°C e de 2 a 4°C, respectivamente. Ao analisar o ciclo anual de precipitação, os autores observaram um aumento na precipitação média anual, associado com o aumento na frequência de dias úmidos e, conseqüentemente, uma redução de dias secos consecutivos.

Marengo et al. (2009b), usando o modelo climático regional HadRM3P, observaram a distribuição dos extremos de temperatura do ar e precipitação para um cenário presente (1961-1990) e de projeções futuras (2071-2100), ao considerar os cenários A2 e B2 (IPCC SRES). Os resultados mostraram uma boa representação do clima presente, em especial para a distribuição espacial dos extremos de temperatura do ar. Segundo os autores, a ocorrência de noites quentes tende a ser mais freqüente, conseqüentemente, as noites frias tendem a diminuir. Mudanças significativas em relação aos extremos de precipitação também foram observadas. Porém em relação às chuvas há uma divergência maior dos resultados ao levar em conta as peculiaridades de cada região. Na região sudeste da America do Sul, por exemplo, foi observado um aumento na intensidade de eventos extremos de precipitação.

Segundo Marengo et al. 2010, muitos outros estudos de impactos e vulnerabilidade às mudanças climáticas têm sido feitos no Brasil utilizando projeções climáticas regionais, conforme detalhados em Marengo et al. (2009a). Alguns exemplos de estudos incluem o setor de segurança energética (SCHAEFFER et al., 2008) e a nova geografia da produção agrícola (ASSAD; PINTO, 2008; SILVA et al. 2009; PANDOLFO, 2010).

2.3.1 *Downscaling*

O termo “*downscaling*” pode ser definido melhor como “uma projeção sensível da informação de grande escala sobre a escala regional” (ZORITA, 1999). Vários métodos de *downscaling* podem ser aplicados à saída dos modelos de Circulação Global (*MCGs*). A aplicação desta técnica de transferência de informações geradas pelos *MCGs* para escalas menores permite um maior detalhamento espacial e temporal, porque viabiliza uma maior compreensão dos processos dinâmicos e físicos da atmosfera e dos oceanos, assim como a interação destes com outros componentes do sistema terrestre.

Dickinson et al. (1989) e Giorgi (1990) foram os idealizadores do uso de modelos de áreas limitadas para estudos climáticos regionais. Segundo os autores, tendo como base os *MCGs* para simular a circulação geral da atmosfera, é possível refinar as variações climáticas locais através de modelos de circulação regional, através dos quais é possível detalhar os efeitos locais. Ajustes e validações dos modelos regionais foram aprimorados através de técnicas de parametrizações físicas (BOUGEAULT, 1997; GIORGI; SHIELDS, 1999) e condições de contorno (GIORGI; MARINUCCI, 1991).

Esta técnica pode ser abordada utilizando duas diferentes abordagens: os modelos dinâmicos regionais, que são modelos numéricos semelhantes aos *MCG* (GIORGI et al. 2001) e os métodos empíricos, que na maioria das vezes são funções de transferência estatísticas entre os dados dos campos de larga escala e a variável de interesse na superfície (WILBY, 1997).

Segundo Marengo et al. (2009 a, b) avanços significativos têm sido encontrados na aplicação da técnica de *Downscaling*. Segundo os autores a aplicação da técnica de *Downscaling* dinâmico em Modelo Climático Regional (RCM) representa um efetivo método de detalhar, de forma mais expressiva, as variações locais através de simulações em uma escala mais refinada.

2.4 Mudanças Climáticas e a Agricultura

O conhecimento de possíveis efeitos das mudanças climáticas e de eventos extremos de temperatura é extremamente importante para a agricultura, pois permite a elaboração de estratégias para minimizar prejuízos futuros. Diversos aspectos estão sendo tratados na busca do entendimento a respeito da relação entre mudanças climáticas, produção agrícola, padrões de consumo, áreas de aptidão e crescimento econômico.

A economia brasileira é fortemente ligada a fatores dependentes do clima. A agricultura e a biodiversidade são significativamente vulneráveis a alterações climáticas (secas, estiagens, inundações, ondas de calor, geadas...). O aquecimento global pode comprometer a produção de alimentos, com previsões de perdas de R\$ 7,4 bilhões em 2020, atingindo R\$ 14 bilhões em 2070, em todos os continentes (Pinto e Assad, 2008).

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Para conhecer melhor as respostas de culturas ao ambiente, diferentes modelos de simulação são utilizados como ferramentas de grande potencial na área de sistemas cultivados, possibilitando o estudo e o entendimento do conjunto, estimando o desempenho das culturas em diferentes áreas e situações (TOJO SOLER, 2004).

Apesar da complexidade envolvida na construção de modelos agrícolas, os esforços são compensados em função da grande aplicabilidade, ferramenta que pode auxiliar o agricultor na tomada de decisões (COX et al., 2000; ITO; OIKAWA, 2000; HOUGHTON et al., 2001).

Assis (2004) ressaltou que a temperatura do ar é uma das variáveis independentes mais utilizadas em modelos de previsão da variação temporal do acúmulo de fitomassa seca em diversas culturas, devido tanto à facilidade de obtenção quanto ao seu relacionamento com a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, necessária para a planta completar o seu ciclo. De modo geral, pode-se dizer que a temperatura afeta a maioria dos processos fisiológicos das plantas. A produtividade ou o potencial

produtivo de cada espécie é afetado pelas temperaturas, existindo limites ótimos para o crescimento e desenvolvimento adequados de cada espécie.

Estudos desenvolvidos em diferentes partes do mundo têm mostrado que as condições climáticas futuras poderão ter impactos substanciais em determinadas culturas (LUO et al., 2005; RICHTER; SEMENOV, 2005; ZHANG; LIU, 2005; BATTISTI; NAYLOR, 2009). Esses impactos referem-se às taxas fotossintéticas, às taxas de respiração, à redução no ciclo das culturas e as alterações em áreas adaptáveis. Uma das principais causas desses impactos é o aumento da temperatura do ar. No entanto, ainda existe uma série de incertezas sobre tais impactos, visto que a produtividade das culturas depende de uma série de fatores biofísicos e socioeconômicos, que são difíceis de quantificar (EWERT et al., 2005).

Análises empíricas (BOSELLO; ZANG, 2005 e MENDELSON, 2005) mostraram que a duplicação do CO₂ na atmosfera terá impactos de redução sobre a atividade agrícola. Em escala mundial, a produção de alimentos seria reduzida em 2,5% a 0,07% e o PIB per capita em 0,047% a 0,01%. Os resultados, contudo, variaram segundo regiões mostrando efeitos bem mais elevados em alguns casos.

Considerando os efeitos das mudanças climáticas na agricultura, o IPCC (2007b) aponta que com o aumento da temperatura máxima do ar entre 1 - 3°C a produtividade de determinadas culturas pode ligeiramente aumentar em regiões de médias a altas latitudes. Para latitudes mais baixas, especialmente em regiões tropicais com estações secas e chuvosas bem definidas, é esperada a diminuição da produtividade das culturas para aumentos de temperatura do ar de 1-2°C, o que aumentaria o risco de escassez de alimentos. Globalmente, é esperado que o potencial agrícola se eleve com aumentos na temperatura média do ar em torno de 1-3°C; acima destes valores, acredita-se na diminuição. Outro agravante para a agricultura é o aumento na frequência de secas e inundações, que pode afetar a produção agrícola negativamente, especialmente em setores de subsistência em baixas latitudes.

Com o passar dos anos, aumentou o número de estudos que avaliam os impactos do aquecimento global na produção agrícola da América Latina e especialmente do Brasil.

Siqueira et al. (1994), analisaram projeções de cenários climáticos sobre o contexto agrícola brasileiro, utilizando os modelos de simulação CERES e SOYGRO e o sistema de suporte de decisão DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). Apresentaram um indicativo de reduções na produção brasileira de trigo e milho e aumento na produção de soja como resultado do efeito estufa. Porém, ainda há dúvidas sobre até que ponto as possíveis modificações conseqüentes de aumento de CO₂, com aumento de temperatura do ar e modificações em outros elementos meteorológicos, poderão afetar o efeito positivo do aumento de CO₂ sobre o crescimento vegetal. A comunidade científica tem buscado responder a esse questionamento, em investigar mais profundamente o efeito da fertilização do CO₂ e os diferentes sistemas que interagem a este efeito.

Assad et al. (2004), a partir das indicações dos relatórios do IPCC, realizaram diferentes simulações e avaliaram quais os impactos que o aumento de temperatura (aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C) e de precipitação (aumentos de 15%) teriam na produtividade da cafeicultura brasileira para os Estados de Goiás, de Minas Gerais, de São Paulo e do Paraná. Os resultados apontaram para um progressivo aumento, até o final do século, de áreas não aptas para o café, em decorrência do aumento das temperaturas, fazendo com que a cultura seja “empurrada” para o Sul e para regiões mais elevadas. As elevadas temperaturas de verão vão condicionar o deslocamento de culturas como arroz, feijão, milho e soja para a região Centro-Oeste, podendo mudar de modo significativo o zoneamento agrícola brasileiro. Segundo este estudo, o pior impacto é estimado para lavouras em solo arenoso, com um aumento de 5,8°C na temperatura. Nessas condições, o cultivo de soja cairia de 3,4 milhões de km² de área potencialmente produtiva para 572 mil km², uma redução de 75%. A queda para o milho seria de 37% (de 4,6 para 2,9 milhões de km²); para o feijão, de 36% (de 4,8 para 3 milhões de km²); e para o arroz, de 51% (de 3,8 para 1,8 milhões de km²).

Anomalias positivas de temperatura podem contribuir para uma delimitação de cultivares adequados à determinadas regiões. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Por outro lado, outras culturas mais resistentes ao calor poderão ser beneficiadas até o seu limite

próprio de tolerância ao estresse térmico. Um exemplo são os resultados encontrados por Pandolfo et al. (2007a), que analisaram como o aumento da temperatura média do ar influenciaria no zoneamento agroclimático da banana e da maçã, através de dados do zoneamento agrícola do Estado de Santa Catarina. Os resultados mostraram restrições das áreas de plantio para a maçã e expansão das áreas aptas ao plantio da banana. Porém, ressalta-se que a expansão de áreas aptas ao plantio da banana também poderá responder a uma maior incidência de doenças e pragas de ciclo curto.

Pandolfo et al. (2007b) analisaram as estimativas das mudanças climáticas no Zoneamento da cultura do feijão no Estado de Santa Catarina, segundo os autores a expectativa é de que, com o aumento das temperaturas, haverá decréscimo do rendimento devido ao abortamento de flores e, conseqüentemente, acúmulo menor de graus-dia ou soma térmica. Porém, segundo informações do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) novas variedades de feijão têm sido apresentadas, adequadas as condições de clima e solo das regiões produtoras e às exigências do mercado consumidor. Um exemplo é a nova variedade IPR 139, um feijão do tipo carioca, ciclo normal (cerca de 90 dias), com potencial de rendimento que pode chegar a 4000 quilos por hectare. Tem boa resistência às principais doenças que afetam a cultura do feijão e apresentam bom comportamento em situações de seca e de altas temperaturas (IAPAR, 2010).

Segundo Lima e Alves (2008), a agricultura tende a ser cada vez mais vulnerável aos extremos hidrológicos e de temperatura, já que este setor depende fortemente dos recursos naturais. O crescimento de culturas e a qualidade da produção podem ser relativamente mais sensíveis a eventos climáticos extremos de curta duração, tais como temperaturas muito elevadas, geadas severas, chuvas de granizo, e seca persistente, situações essas verdadeiramente temidas pelos agricultores. Conforme descrito nas seções anteriores, na Região Sul do Brasil, eventos de enchentes e de secas prolongadas estão relacionados, respectivamente, aos fenômenos de El Niño e La Niña. Perdas de safras muitas vezes podem ser observadas durante estes eventos. No Rio Grande do Sul, por exemplo, o total acumulado de chuva nos três meses do verão de 2004/2005 foi menor que 200 mm, o menor volume acumulado nos últimos 53 anos (BERLATO;

CORDEIRO, 2005). Segundo esses autores, a forte estiagem ocasionou uma quebra na safra de grãos, que no Brasil foi da ordem de 20 milhões de toneladas.

Assad e Pinto (2008), ao elaborar uma nova geografia da produção agrícola do Brasil, analisaram o impacto que o aumento de temperatura do ar teria sobre diferentes culturas agrícolas. Para as projeções de cenários agrícolas, utilizaram como base projeções do modelo climático *Precis* (2071-2100), considerando os cenários A2 e B2. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura do ar, em um clima futuro, irá contribuir para uma redução da área de baixo risco de quase todas as culturas abordadas (algodão, arroz, feijão, girassol, milho e soja), exceto a cana de açúcar e mandioca.

Nos últimos anos a produção agrícola cresceu para atender muito mais as oportunidades de exportação do que as necessidades do mercado interno. Uma redução nos níveis de produção, como reflexo das mudanças climáticas, deve provocar, por consequência, uma diminuição das principais linhas de exportação (ASSAD; PINTO, 2008).

Ghini et al. (2008), através do uso de sistemas de informações geográficas, avaliaram os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial de nematóides e do bicho-mineiro da cultura de café. Segundo os autores, o conhecimento dos impactos das mudanças climáticas na ocorrência de pragas e doenças é de grande importância para o setor agrícola, pois permite a elaboração de estratégias para minimizar prejuízos futuros. Os resultados mostraram que para um cenário com maiores emissões de gases de efeito estufa (cenário A2) poderá haver aumento na infestação, tanto do nematóide quanto da praga, quando comparada com a normal climatológica de 1961–1990. No cenário B2, o número de gerações também foi maior que no cenário atual, porém em grandeza menor que o A2.

Pandolfo (2010), utilizando os critérios do zoneamento agrícola propostos por Agroconsult (2010), estimou o impacto das mudanças climáticas no zoneamento agrícola para videira *Vitis vinifera* L., em Santa Catarina, para 2030, 2060 e anos futuros, utilizando análise de tendência de horas de frio menor ou igual a 7,2°C observadas. Estimou-se uma redução nas áreas potenciais de cultivo e essa redução será maior nas áreas de maior produção da videira atualmente.

Porém, no Brasil, ainda são restritas as pesquisas relacionadas aos impactos do efeito estufa na agricultura, especialmente na Região Sul do Brasil. A maioria dos estudos desenvolvidos tem como foco principal a avaliação, através de modelos de equilíbrio atmosférico, de cenários climáticos futuros (para diferentes concentrações de CO₂), sem se estender ao impacto que estes cenários poderão gerar nas diferentes atividades econômicas.

2.5 Os cultivos de Pêssego e de Nectarina

O pêssego e a nectarina são frutos muito apreciadas pelo sabor e aparência. São duas variedades da mesma espécie botânica, *Prunus persica*.

O pêssego (*Prunus persica* L.), uma espécie nativa da China, com registros que remontam há 20 séculos *a.C.*, é considerado uma frutífera de clima temperado com ampla adaptação, em distintas zonas edafoclimáticas. Estudos indicam que, provavelmente, teria sido levado da China para a Pérsia e de lá se espalhado pela Europa (BOTTON et al., 2003). No Brasil, segundo relatos históricos, o pessegueiro foi introduzido em 1532 por Martim Afonso de Souza, por meio de mudas trazidas da Ilha da Madeira e plantadas em São Vicente (no atual Estado de São Paulo).

A nectarina (*Prunus persica* L. Batsch, variedade *nucipersica*, família *Rosaceae*) é uma fruta de clima temperado, produzida no Sul e Sudeste do Brasil. É resultante do cruzamento do pêssego com a ameixa vermelha, fonte rica em potássio e vitamina C. As nectarinas foram mencionadas pela primeira vez nos Estados Unidos, em 1720, quando cresceu entre árvores de pêssego no Estado da Virginia. A variedade botânica *nucipersica*, conhecida pelo nome de nectarina, apresenta ausência de pêlos nos frutos, característica de um fator genético recessivo para o caráter piloso (PENTEADO, 1986).

Além da nectarina (var *nucipersica*), as espécies *Prunus persica* tem diversas outras variedades botânicas: variedades onde a polpa se solta com facilidade do caroço ou não, diferenciam-se pela cor da polpa (branca ou amarela), de frutos achatados (raras no Brasil - var *platycarpa*). Em um contexto geral, existem milhares de variedades de pêssegos, para diferentes períodos de desenvolvimento.

O pêssego e a nectarina estão entre as frutas de maior interesse econômico no mundo. Segundo dados da FAO (2010), a produção mundial de pêssegos foi de aproximadamente 18 milhões de toneladas em 2008. Os principais produtores são a China, a Itália, os EUA e a Espanha. Embora sendo o maior produtor mundial, a China não figura na relação dos países exportadores, o que provavelmente se deve ao grande consumo interno. Ainda com base nessas mesmas estatísticas, no Mercosul, a Argentina e o Chile são os maiores produtores e o Brasil ocupa o 12º lugar, com uma produção anual de 216.236 toneladas em 2009 e uma área cultivada de 19.102 ha.

A Região Sul se destaca pelas condições de clima e solo adequados ao seu desenvolvimento (CARAMORI et al. 2008), onde as condições naturais, sobretudo o clima temperado, favorecem a exploração comercial. Os Estados brasileiros com maior produção de pêssegos e de nectarinas são o Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina e Paraná (IBGE, 2010). O Estado de Santa Catarina apresenta condições naturais propícias para a produção de pêssego e de nectarina, especialmente em função das baixas temperaturas e do acúmulo de horas de frio. Segundo dados do IBGE (2010), a produção média catarinense no período de 2006 a 2009 foi de 16.431 toneladas/ano cultivadas em cerca de 2.000 ha/ano, em média.

O conhecimento das condições climáticas é fundamental para a implantação de culturas de clima temperado, visto que interferem na formação das gemas floríferas e vegetativas, na quebra da dormência e no comportamento fenológico e produtivo. A regularidade e a intensidade de baixas temperaturas são fundamentais, pois oscilações durante o período de dormência podem fazer com que a planta permaneça nele por um tempo maior ou que ocorram brotação e floração não uniformes, em que grande parte das gemas continuam dormentes (PETRI, 2006).

Na *fase vegetativa*, o pêssego e a nectarina atingem, geralmente, melhor qualidade em áreas onde as temperaturas no verão (principalmente, próximo à colheita) são relativamente altas durante o dia e amenas no período noturno. Essas condições propiciam aumento do teor de açúcares e melhoria da coloração (INVUFLEC, 1975 citado por MEDEIROS; RASEIRA, 1998).

Com a diminuição da temperatura nos meses de outono o crescimento cessa, o que permite às plantas se prepararem para resistir a condições adversas de baixas temperaturas (CHAMPAGNAT, 1983). Esta paralisação ocorre apenas externamente, enquanto que a parte interna da planta continua ativa, sintetizando hormônios, que comandam o desenvolvimento das gemas na primavera seguinte. Nessa fase, conhecida como *dormência*, as gemas floríferas e vegetativas precisam de um repouso hibernar para que seja completada sua formação, com temperaturas baixas no outono/inverno. Segundo Dennis citado por Ferreira (1974), a dormência é o período compreendido entre a queda das folhas, no outono, e o início de um desenvolvimento rápido na primavera ou até próximo da época do florescimento.

O pessegueiro prefere locais de clima frio moderado, com temperaturas durante o inverno não inferiores a 0°C constantes, sem elevações bruscas, não sujeitos às geadas tardias, ventos frios, chuvas excessivas ou granizo, durante a fase vegetativa. Por outro lado, neblina e chuvas contínuas, por elevarem o grau de umidade relativa do ar, favorecem excepcionalmente o ataque de doenças fúngicas (PENTEADO, 1986).

Ambas os cultivos, pêssego e nectarina, apresentam exigências bioclimáticas semelhantes. São espécies que requerem *horas de frio* menor ou igual a 7,2°C, porém com necessidades que variam de acordo com o tipo de variedade (HERTER et al., 1998). Algumas necessitam de 75 a 150 horas de frio, enquanto que para outras são necessárias mais de 700 horas de frio. No Brasil, a faixa ideal para as diferentes variedades plantadas varia entre 100 e 500 horas de frio acumuladas de maio a setembro, para completar a dormência.

As dificuldades para a determinação de uma temperatura padrão para estimar o frio acumulado e a simplicidade do conceito de horas frio (HF), soma de horas com temperatura do ar menor ou igual a 7,2°C, fizeram com que modelos matemáticos fossem desenvolvidos para estudo do acúmulo de horas de frio. O número de horas que a temperatura do ar permanece abaixo de determinado valor é um índice bioclimático bastante utilizado nos estudos do efeito do nível térmico sobre o desenvolvimento vegetal (POLA; ANGELOCCI, 1993).

Estudos de probabilidade de horas de frio são importantes para a definição da área e do risco de produção das fruteiras de clima temperado, bem como para a determinação de cultivares adequados à uma determinada região. Permite a adequação dos períodos de brotação com épocas de menor probabilidade de ocorrência de geadas e de temperaturas prejudiciais à cultura, dando também suporte à tomada de decisão quanto ao uso de produtos químicos para quebra de dormência (MASSIGNAM et al., 2007).

Quando o inverno se caracteriza por temperaturas mais elevadas, em invernos mais quentes, há baixa porcentagem de brotação das gemas laterais e forte dominância apical, com longos ramos terminais. Como consequência, forma-se baixo número de ramos e de esporões laterais, com floração e brotação não uniformes, o que é conhecido por 'erratismo' (GIESBERGER, 1972; LICHOU; FOURNIER, 1981; DENNIS, 1985; DEL REAL LABORDE, 1987). Segundo Petri et al. (2002), quando a necessidade de horas de frio é insuficiente, necessita-se da aplicação de algumas práticas culturais especiais e o uso de produtos químicos para a quebra da dormência.

Quando chega o fim do inverno, ocorre o término do período de repouso, começa haver *brotação e floração* e as gemas e ovários precisam de calor para começar a desenvolver-se (CARAMORI et al., 2008). Segundo Wrege et al. (2005), após a saída do período de dormência (acúmulo de frio), a planta precisa de acúmulo de calor, medido pelo somatório de horas de calor (GDH – *Growing degree hours*). A necessidade de calor varia de acordo com a cultivar, suas condições fisiológicas e seu estágio de desenvolvimento (CITADIN et al., 2001). A temperatura ideal de primavera para o pessegueiro, durante o seu florescimento, situa-se entre 15 e 18°C. No período da

nucleação à maturação plena do fruto, a temperatura deve manter-se, aproximadamente, na faixa de 20 a 24°C durante o dia e entre 15 e 17°C durante a noite. Períodos de oito a dez dias de frio são fatais para as gemas frutíferas, com temperaturas entre 7 e 10°C.

A época de *colheita* do pêssego, normalmente, se estende desde fins de outubro até começo de março, sendo que existem algumas variedades e situações de invernos atípicos que podem antecipar a colheita. Nienow e Floss (2003) estudaram o aspecto produtivo de 24 cultivares e seleções de pessegueiro e nectarineira, tendo como condição invernos mais amenos, que proporcionaram antecipação da floração. Segundo os autores, a antecipação em maior ou menor grau da floração dos pessegueiros e nectarineiras na região do Planalto Médio do Rio Grande Sul, decorrente da elevação das temperaturas no final de junho e em julho, repercutiram na data de início da colheita, antecipando-a em até 20 dias, dependendo do cultivar ou seleção.

Outro fator limitante para o desenvolvimento das culturas é a ocorrência de geadas. Nas regiões de clima temperado do Brasil, o desenvolvimento das gemas, das flores e dos frutos pode ser afetado pelas temperaturas mínimas que ocorrem com maior intensidade no inverno e por geadas de primavera (EMBRAPA, 1984). Normalmente, a floração ocorre de *junho* a *setembro*, dependendo da variedade e região, período em que as estruturas fisiológicas da planta são suscetíveis às geadas. Os riscos de geadas tardias são maiores, mas pode ser contornado com uma escolha criteriosa de terrenos menos sujeitos à geadas e com o combate contra elas através de queima de combustíveis ou uso de irrigação por aspersão. Os períodos de floração das variedades de pessegueiro e de nectarineira recomendado para regiões serranas ocorrem normalmente na primeira quinzena de setembro e as flores resistem a temperaturas de até 3° negativos (DUCROQUET, 2005). Conforme Sachs e Herter (1984), geadas pouco antes, durante ou depois do florescimento, constituem um dos sérios problemas, apresentando-se o pistilo e as anteras como os órgãos mais sensíveis. O frio persistente pode causar distúrbios graves na polinização, no desenvolvimento do tubo polínico, comprometendo a produção.

Caramori et al. (2008), através de análise de horas de frio e frequência de geada, indicaram as regiões aptas para plantio de variedades de pessegueiros e nectarineiras no Estado do Paraná. Conforme pode ser observado na Figura 2.3, a região cinza representa a região não recomendada para o plantio comercial de pessegueiros e nectarineiras, pois não apresenta horas de frio suficiente para a produção dessas espécies, considerando-se as variedades atualmente existentes no mercado.

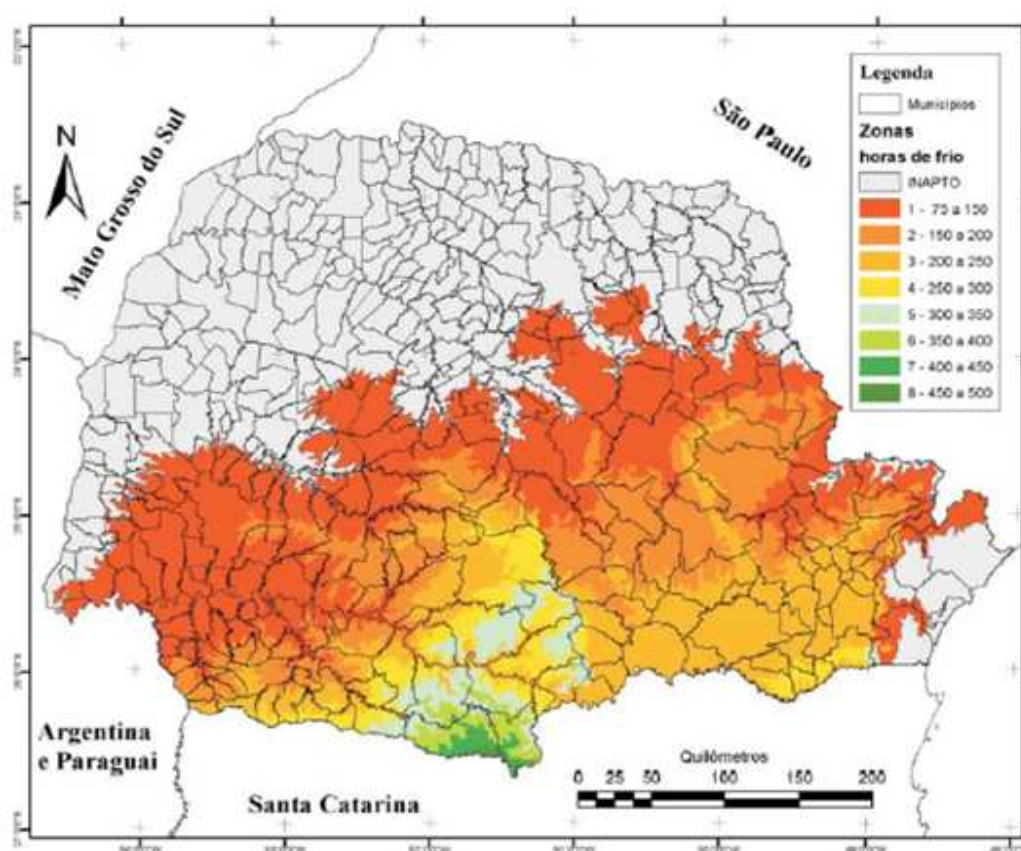


Figura 2.3. Zoneamento agroclimático para os cultivos de pêssgo e de nectarina no Estado do Paraná.

Fonte: Caramori et al. (2008)

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 Região de Estudo

A Região Sul do Brasil, composta pelos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, está localizada entre os paralelos 22°30' e 34°30' de latitude Sul e entre os meridianos 48°19' e 57°30' de longitude Oeste. É caracterizada por uma grande variabilidade climática que resulta em distintos padrões regionais. Na Figura 3.1 e Tabela 3.1 estão representados e descritos cada um dos três Estados e suas respectivas mesorregiões, conforme critérios estabelecidos pelo IBGE.

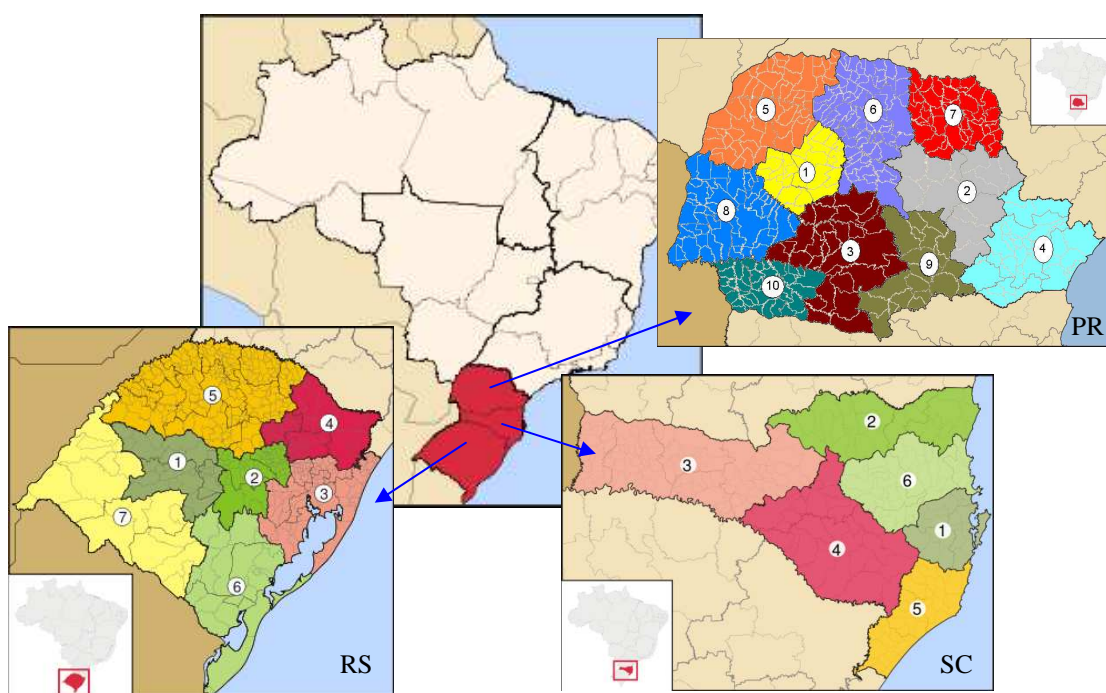


Figura 3.1 – Mesorregiões de cada Estado da Região Sul do Brasil.

Tabela 3.1 - Descrição de cada uma das mesorregiões que compõem cada um dos Estados da Região Sul do Brasil, conforme distribuição na Figura 3.1.

Estado	Mesorregiões
Paraná (PR)	1. Centro Ocidental Paranaense
	2. Centro Oriental Paranaense
	3. Centro-Sul Paranaense
	4. Metropolitana de Curitiba do Paraná
	5. Noroeste Paranaense
	6. Norte Central Paranaense
	7. Norte Pioneiro Paranaense
	8. Oeste Paranaense
	9. Sudeste Paranaense
	10. Sudoeste Paranaense
Santa Catarina (SC)	1. Grande Florianópolis
	2. Norte catarinense
	3. Oeste Catarinense
	4. Serrana
	5. Sul catarinense
	6. Vale do Itajaí
Rio Grande do Sul (RS)	1. Centro Ocidental Rio-Grandense
	2. Centro Oriental Rio-Grandense
	3. Metropolitana de Porto Alegre
	4. Nordeste Rio-Grandense
	5. Noroeste Rio-Grandense
	6. Sudeste Rio-Grandense
	7. Sudoeste Rio-Grandense

3.2 Dados

Para o presente estudo, foram utilizadas séries históricas diárias das temperaturas do ar média, mínima e máxima, cujas informações sobre localização (latitude/longitude) e altitude das estações meteorológicas são apresentadas nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4. A distribuição geográfica das estações meteorológicas selecionadas para este estudo é mostrada na Figura 3.2, em que cada estação está representada por um número equivalente aos números expostos nas Tabelas acima.

Os dados de cada estação meteorológica de um município representam as condições climáticas do referido município e apresentam uma série histórica superior a 30 anos, tendo como padrão o período de 1961 a 2008. Os dados do Estado do Paraná foram cedidos pelo IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná, Curitiba/PR; do Estado de Santa Catarina pela EPAGRI/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina e Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina), em Florianópolis-SC, e os dados do Estado do Rio Grande do Sul pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Tabela 3.2 – Identificação das estações meteorológicas do Estado do Paraná.

ESTAÇÕES		LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (metros)
1	Cambará	23°00'	50°02'	450
2	Campo Mourão*	24°03'	52°22'	616
3	Curitiba*	25°06'	49°16'	923
4	Guarapuava	25°21'	51°30'	1058
5	Londrina	23°19'	51°08'	566
6	Morretes	25°30'	48°49'	59
7	Nova Cantu	24°40'	52°34'	540
8	Paranaguá*	25°32'	48°31'	4
9	Paranavaí	23°05'	52°26'	480

Fonte de dados: IAPAR/INMET*.

Tabela 3.3 - Identificação das estações meteorológicas do Estado de Santa Catarina.

ESTAÇÕES		LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (metros)
10	Caçador	26° 49'	50° 59'	960
11	Campos Novos	27° 23'	51° 12'	964
12	Chapecó	27° 05'	52° 38'	679
13	Itajaí	26° 57'	48° 45'	5
14	Lages	27° 48'	50° 19'	937
15	São Joaquim	28° 16'	49° 56'	1376
16	São José (Florianópolis)	27° 36'	48° 37'	2
17	São Miguel do Oeste	26° 46'	53° 30'	700
18	Urussanga	28° 31'	49° 18'	434
19	Videira	27° 01'	51° 08'	774

Fonte de dados: EPAGRI/CIRAM/INMET.

Tabela 3.4 – Identificação das Estações Meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul.

ESTAÇÕES		LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (metros)
20	Bagé	31° 20'	54° 06'	242
21	Bom Jesus	28° 40'	50° 26'	1047
22	Encruzilhada do Sul	30° 32'	52° 31'	428
23	Iraí	27° 11'	53° 14'	247
24	Passo Fundo	28° 13'	52° 24'	684
25	Pelotas	31° 47'	52° 25'	13
26	Porto Alegre	30° 03'	51° 10'	47
27	Santa Maria	29° 42'	53° 42'	95
28	Santa Vitória do Palmar	33° 31'	53° 21'	24
29	São Luiz Gonzaga	28° 24'	55° 01'	245
30	Torres	29° 21'	49° 43'	5
31	Uruguaiana	29° 45'	57° 05'	62

Fonte de dados: 8° Distrito de Meteorologia/INMET.

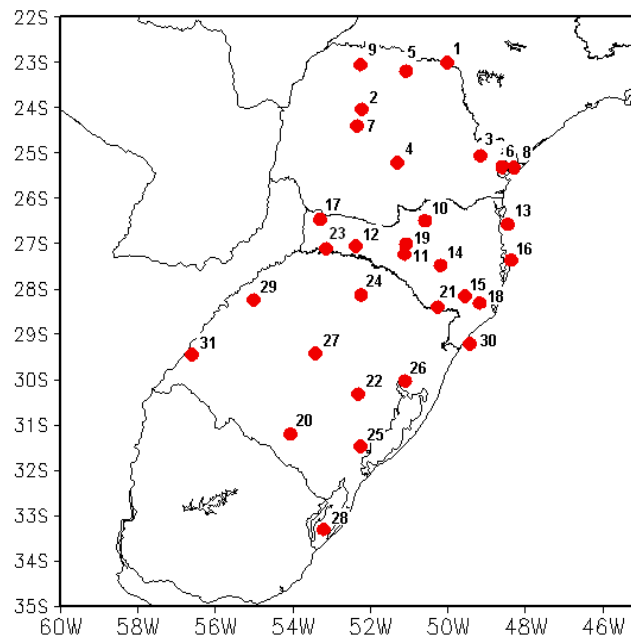


Figura 3.2 - Distribuição geográfica das 31 estações meteorológicas selecionadas na Região Sul do Brasil.

Também foram utilizados dados diários de temperatura do ar projetados pelo Modelo Climático Regional *HadRM3P*, que faz parte do sistema *Precis* (Providing Regional Climates for Impacts Studies), cujo detalhamento será abordado na seção 3.3.3. Dados médios mensais das temperaturas do ar máxima e mínima provenientes de oito modelos globais (IPCC/AR4) foram utilizados com o intuito de compará-los ao ciclo anual do modelo regional *HadRM3P*, conforme será descrito na metodologia.

Com relação à produtividade agrícola, neste estudo foi dado enfoque aos seguintes cultivos: pêssigo e nectarina. A avaliação desses cultivares, assim como os períodos de plantio e as características fenológicas, foram obtidos através das unidades da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária), EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A), CEPA/SC (Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola), IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) e FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária). Os dados relativos à produtividade destes cultivos e as regiões aptas foram obtidos junto aos seguintes

órgãos: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Instituto CEPA/SC e EPAGRI.

3.3 Metodologia

A metodologia adotada para este estudo é apresentada em quatro diferentes etapas: na primeira etapa discutiu-se a forma com que foi realizada a análise de consistência e homogeneidade das séries diárias de temperatura do ar. Na segunda etapa abordou-se a metodologia aplicada para as análises das condições climáticas atuais de cada um dos três Estados, definindo padrões climáticos regionais de temperatura do ar. A terceira etapa abordou os cenários futuros de mudanças climáticas, em função de diferentes concentrações de gases de efeito estufa (cenários A2 e B2), utilizando o modelo regional HadRM3P, assim como a forma com que os dados observados foram relacionados aos dados simulados pelo modelo climático regional HadRM3P. Na quarta etapa discutiu-se a forma com que foram avaliados os impactos dos cenários climáticos em função de critérios térmicos relativos aos cultivos de pêssego e de nectarina. A seguir são descritas, com detalhamento, cada uma destas etapas.

3.3.1 Primeira Etapa: Organização e consistência dos dados observados de temperatura do ar

Pré-processamento e análise de consistência

A primeira parte de tratamento dos dados diz respeito à homogeneidade de dados. Para cada estação foram verificados os períodos disponíveis de dados meteorológicos e suas respectivas falhas. Consideraram-se, para este estudo, apenas as estações com 75% de dados sobre o período total. É importante ressaltar que a maioria das estações que foram selecionadas possui um período quase que integral de dados. Devido à grande dificuldade de encontrar séries bastante completas, sem grandes falhas, consideraram-se também algumas estações com períodos menores de dados, com início em 1973.

Devido à grande quantidade de dados diários das temperaturas do ar máxima, média e mínima foi de fundamental importância aplicar uma detalhada análise de consistência. A análise utilizada no presente trabalho seguiu os critérios aplicados por Camargo (2004) e Rusticucci e Barrucand (2001). Tal análise foi realizada segundo as normas estabelecidas pelo guia de controle de qualidades de dados climatológicos publicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) no programa de dados climatológicos (ABBOT, 1984) e por uma cuidadosa análise das distribuições dos valores diários de temperatura do ar (temporal e espacial). A análise de consistência foi dividida em duas fases diferentes, descritas a seguir, juntamente com algumas observações:

Fase 1 - Inicialmente foi feita a leitura dos dados, os quais foram organizados com um mesmo formato de apresentação; deste modo, verificaram-se todos os caracteres existentes e a distribuição diária de cada dado registrado. Desta forma, foi possível detectar a existência ou não dos seguintes itens:

- registros inexistentes ou repetidos.
- registros desordenados (seqüência diária em ordem inversa ou misturada).
- registros com códigos inexistentes (letra ou símbolo no lugar dos números).
- identificação dos valores utilizados para substituir dados faltantes (ex: 777.70; 77,70; 999.9).
- erros na identificação dos dados faltantes.

Nesta etapa, todos os itens foram identificados entre os valores diários da temperatura do ar, porém, em pequenas proporções; assim, alguns foram corrigidos e outros eliminados.

Fase 2 - Foram identificados os chamados erros indiscutíveis: casos, por exemplo, em que a temperatura máxima é inferior à temperatura mínima; o valor da temperatura média ou da amplitude térmica é irreal pela inexistência do valor da temperatura mínima ou da máxima (em planilhas com as fórmulas anexadas); falsas

seqüências de 0 (zero) e a ocorrência de valores extremos inaceitáveis (valores que extrapolam os limites históricos das temperaturas extremas).

- *Temperatura máxima menor que a temperatura mínima*

Em uma situação isolada, devido à dificuldade de identificar se houve ou não troca entre a máxima e a mínima, estes dados foram considerados como dados faltantes. No caso de uma seqüência mais prolongada (principalmente ocorrendo várias vezes em um mesmo conjunto de dados), primeiro tentou-se identificar junto a quem forneceu os dados se houve ou não permutação entre os valores; não sendo possível esta identificação, estes dados foram considerados como errôneos e, portanto, eliminados. Em nenhuma das estações esta situação foi encontrada com contínuas repetições, apresentando-se apenas um caso ou outro (alguns meses de dados trocados nas séries do Estado do Rio Grande do Sul - INMET).

- *Valor irreal da temperatura média e da amplitude térmica diária.*

Este caso é válido quando os dados são inseridos em planilhas com fórmulas anexadas. Deste modo, se um dos valores da temperatura máxima ou da temperatura mínima não existir ou estiver substituído por valores representando dados faltantes, os resultados da temperatura média ou da amplitude serão valores irrealis. Isto foi bastante observado em todas as estações em que os dados foram transformados e anexados em planilhas de cálculos. Deste modo, todas as possibilidades de ocorrer esta situação foram observadas cuidadosamente.

- *Falsas seqüências de zero (0)*

Para a temperatura do ar, cada seqüência de três ou mais zeros encontrados consecutivamente foram consideradas como dados irrealis; portanto, foram

eliminados. Esta situação foi encontrada em apenas uma das estações meteorológicas.

- *Ocorrência de valores extremos inaceitáveis*

Este foi um dos pontos mais delicados quanto à análise, pois os recordes históricos de cada estação precisaram ser levados em consideração. Para cada estação meteorológica (de acordo com sua latitude, altitude e época do ano) foram estipulados valores históricos (valores absolutos) de cada mês. Deste modo, observou-se a existência de valores que estavam acima (ou abaixo no caso da temperatura mínima) destes valores históricos. Porém, em todos os casos encontrados os valores apresentavam um erro muito nítido, muitas vezes por falhas de digitação (ex.: uma temperatura máxima igual a -1°C , no meio de uma série de valores consecutivos variando em torno de 32 e 35°C ; valores de temperaturas máximas iguais a 56 , 77 , $86\dots$ ou mínimos iguais a -22 , -45 , -63).

- *Valores de temperatura do ar inaceitáveis*

Nesta etapa foi observada a diferença diária entre o dado de um respectivo dia e os dos dias anterior e posterior. Desta forma foi possível observar a variação a cada dia da série. Neste caso, observaram-se falhas de digitação do dado, a qual foi possível detectar observando a variação seqüencial da série. A maior frequência de erros foi encontrada na temperatura máxima, como por exemplo, um valor de temperatura de 11°C no mês de janeiro, entre valores variando de 30 a 40°C . Quando encontrados casos como estes, o respectivo valor (no respectivo dia) foi conferido com valores de estações meteorológicas de localização próxima ou averiguando-se os sistemas sinóticos atuantes no respectivo período.

No entanto, mais do que uma cuidadosa análise dos dados diários de temperatura do ar, a meta que se procurou alcançar foi obter a maior confiabilidade possível nas séries e, assim, poder gerar resultados mais precisos.

3.3.2 Segunda Etapa: Definição dos padrões climáticos atuais da Região Sul do Brasil tendo como base dados observados em estações meteorológicas

Estando os dados consistidos e padronizados, foram definidos os padrões climáticos médios das séries diárias das temperaturas do ar média, mínima e máxima, em níveis mensais, sazonais (verão - Dez/Jan/Fev; outono - Mar/Abr/Mai; inverno - Jun/Jul/Ago e primavera - Set/Out/Nov) e anuais. Foram também analisados os campos de anomalias de temperatura do ar, em relação ao período 1961-90 definindo, desta forma, as condições climáticas atuais que representam cada um dos três Estados. Os mapas climáticos foram representados através do uso do software ArcGIS 9.2, mostrando a evolução espacial e temporal destas variáveis, utilizando como interpolador o método *IDW (Inverse Distance Weighted)*. Para a análise de significância foi aplicado o teste *t Student*, a um nível de confiança de 95%.

Nesta etapa, também foram analisados os valores extremos de temperatura do ar (frio e calor intenso), considerando como base índices extremos de curta duração para o clima do presente (FRISCH et al., 2002). A análise regional destes índices foi realizada em escalas mensais e sazonais. Neste estudo foram adotados os seguintes índices: **FD** - *Total de dias com temperatura abaixo de 0°C*; **TXx** - *valor máximo mensal de temperatura máxima* e **TNn** - *valor mínimo mensal de temperatura mínima*.

3.3.3 Terceira Etapa: Cenários climáticos projetados pelo modelo regional HadRM3P.

Nesta etapa averiguou-se a capacidade do modelo climático HadRM3P, integrado para o clima presente, de representar o mesmo e sua variabilidade em uma escala menor, tendo como foco a Região Sul do Brasil. Para esta análise foram adotadas estações

meteorológicas de cada um dos três Estados, as quais apresentam um período de dados coincidente com a base climática gerada pelo modelo, ou seja, 1961-1990 (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Identificação das estações meteorológicas da Região Sul do Brasil com dados disponíveis para o período de 1961-1990.

ESTAÇÃO	LAT	LON	ESTAÇÃO	LAT	LON
Cambará/PR	23°00'	50°02'	Urussanga/SC	28° 31'	49° 18'
Curitiba/PR	25°06'	49°16'	Bagé/RS	31° 20'	54° 06'
Londrina/PR	23°19'	51°08'	Irai/RS	27° 11'	53° 14'
Paranaguá/PR	25°32'	48°31'	Passo Fundo /RS	28° 13'	52° 24'
Caçador/SC	26° 49'	50° 59'	Pelotas /RS	31° 47'	52° 25'
Lages/SC	27° 48'	50° 19'	Porto Alegre/RS	30° 03'	51° 10'
São Joaquim/SC	28° 16'	49° 56'	São Luiz Gonzaga/RS	28° 24'	55° 01'

Inicialmente, os ciclos anuais das temperaturas do ar máxima e mínima do modelo regional HadRM3P foram relacionados a oito diferentes modelos globais do IPCC/AR4 (Quarto Relatório de Avaliação), assim como o comportamento destes em relação às médias mensais da região Sul do Brasil. A Tabela 3.6 apresenta a descrição dos modelos globais usados nesta análise, os quais foram selecionados em função da disponibilidade de dados em relação às temperaturas máxima e mínima.

Tabela 3.6 - Modelos de circulação geral Oceano-Atmosfera, cujas simulações climáticas (preparadas para o IPCC/AR4) foram consideradas no presente estudo.

Modelo	Instituto (País)	Resolução Componente Atmosférica
<i>BCCR-BCM2.0</i>	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)	T42L31 (aprox. 1.8° lat/lon)
<i>CCSM3</i>	National Center for Atmospheric Research (USA)	T85L26 (aprox. 1.4° lat/lon)
<i>CSIRO-Mk3.0</i>	CSIRO Atmospheric Research (Austrália)	T63L18 (aprox. 1.8° lat/lon)
<i>CSIRO-Mk3.5</i>	CSIRO Atmospheric Research (Austrália)	T63 L31 (aprox. 1.8° lat/lon)
<i>GISS-AOM</i>	NASA/Goddard Institute for Space Studies (USA)	3° lat x 4° lon., L15
<i>INM-CM3.0</i>	Institute for Numerical Mathematics (Russia)	4° lat. x 5° lon, L21
<i>MIROC3.2-medres</i>	Center for Climate System Research (Univ. of Tokyo), National Institute For Environmental Studies, and Frontier Research Center For Global Change (Japan)	T42 L20 (aprox. 2.8° lat/lon)
<i>NCAR PCM</i>	National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF (a primary sponsor), DOE (a primary sponsor), NASA, and NOAA - Parallel Climate Model (PCM)	T42 L26 (aprox. 2.8° lat/lon)

Fonte: IPCC (2007).

A seguir, compararam-se estatisticamente as séries mensais e sazonais de temperatura do ar oriundas de estações meteorológicas situadas na Região Sul do Brasil com os valores gerados pelo modelo regional *HadRM3P*. Tal análise foi realizada através do uso de aplicações estatísticas, tais como: *Viés*, erro quadrático médio (*RMSE*) e coeficiente de correlação (*c.c*), apresentadas na Tabela 3.7, em que *N* é o tamanho da amostra, *S* e *O* as médias da simulação e observação, respectivamente.

Tabela 3.7 – Apresentação das estatísticas utilizadas.

Análise	Equações
Viés	$Viés = S - O$
Coeficiente de correlação	$c.c = \frac{\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})(O_n - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 - \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2}}$
RMSE	$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_n - O_n)^2\right)}$

FONTE: Spiegel (1993); Wilks (1995).

Finalmente, nesta etapa investigou-se também a variabilidade climática futura em função de diferentes concentrações de gases do efeito estufa. Nesta etapa, projeções do Modelo Climático *HadRM3P* foram usadas como ferramentas para a detecção de futuras mudanças no clima da Região Sul do Brasil.

De acordo com a metodologia empregada por Marengo et al. (2009b), ao gerar *cenários climáticos futuros para o Brasil*, este estudo utilizou a versão atual do modelo climático regional do *Hadley Center*, o *HadRM3P*, o qual é baseado na versão mais recente do *HadCM3*. Este modelo faz parte do Sistema Integrado de Modelagem Regional *PRECIS* (Providing Regional Climate for Impacts Studies). Segundo Alves (2007), o sistema *PRECIS* foi originalmente desenvolvido a partir da crescente demanda dos países que necessitavam gerar cenários climáticos regionais com alta resolução espacial de forma relativamente simples. Atualmente, o sistema *PRECIS* já é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em vários países, a exemplos da Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Maiores detalhes acerca do sistema *PRECIS* podem ser obtido em Jones et al., 2004.

Este modelo possui uma resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e 4 níveis no solo. O HadRM3P usa a mesma formulação climática do modelo HadAM3, as mesmas condições de contorno, o que permite que o modelo regional forneça projeções climáticas consistentes com o modelo global.

Os cenários climáticos do IPCC (2007), definidos no *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), são baseados em projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, denominados de A1, A2, B1 e B2, os quais estão disponibilizados no IPCC-DDC da CRU - *University of East Anglia*. As características de cada cenário, em relação às concentrações de gases de efeito estufa (SO₂, CO₂, N₂O e CH₄), são ilustradas na Figura 3.3, mostrando as diferentes concentrações dos cenários SRES e suas variações no período de 1980 até 2100. Para informação detalhada dos cenários de mudança climática ver Nakicenovic et al. (2000).

No presente estudo, para a Região Sul do Brasil, foram avaliadas implicações climáticas decorrentes dos cenários SRES A2 e B2 (Tabela 3.8), para a temperatura do ar, projetadas regionalmente (2071-2100), sempre com referência à média climática de 1961-1990, as quais foram representadas através do uso do software ArcGIS 9.2, utilizando como interpolador o método *IDW* (*Inverse Distance Weighted*).

Tabela 3.8 – Descrição dos cenários de emissões de gases efeito estufa, A2 e B2.

Cenários	Definições
Cenário A2	Descreve um mundo com uma população crescendo continuamente, assim como as emissões dos gases-estufa. Em geral, o modo de fazer negócios continua como sempre foi feito. Novas tecnologias são implementadas em ritmo muito lento e de modo regionalizado, sem a adoção de novos padrões mundiais. De acordo com este cenário, a temperatura média da Terra deve aumentar entre 2°C e 5,4°C até 2100.
Cenário B2	Mundo com ênfase em soluções locais para sustentabilidade econômica, social e ambiental. População aumenta continuamente, mas em um ritmo menor que no A2. As mudanças tecnológicas não serão muito rápidas, porém mais diversificadas, o que permitirá uma emissão menor de gases de efeito estufa. De acordo com este cenário, a temperatura deve variar entre 1,4°C e 3,8°C em 2100.

Fonte: IPCC (2007).

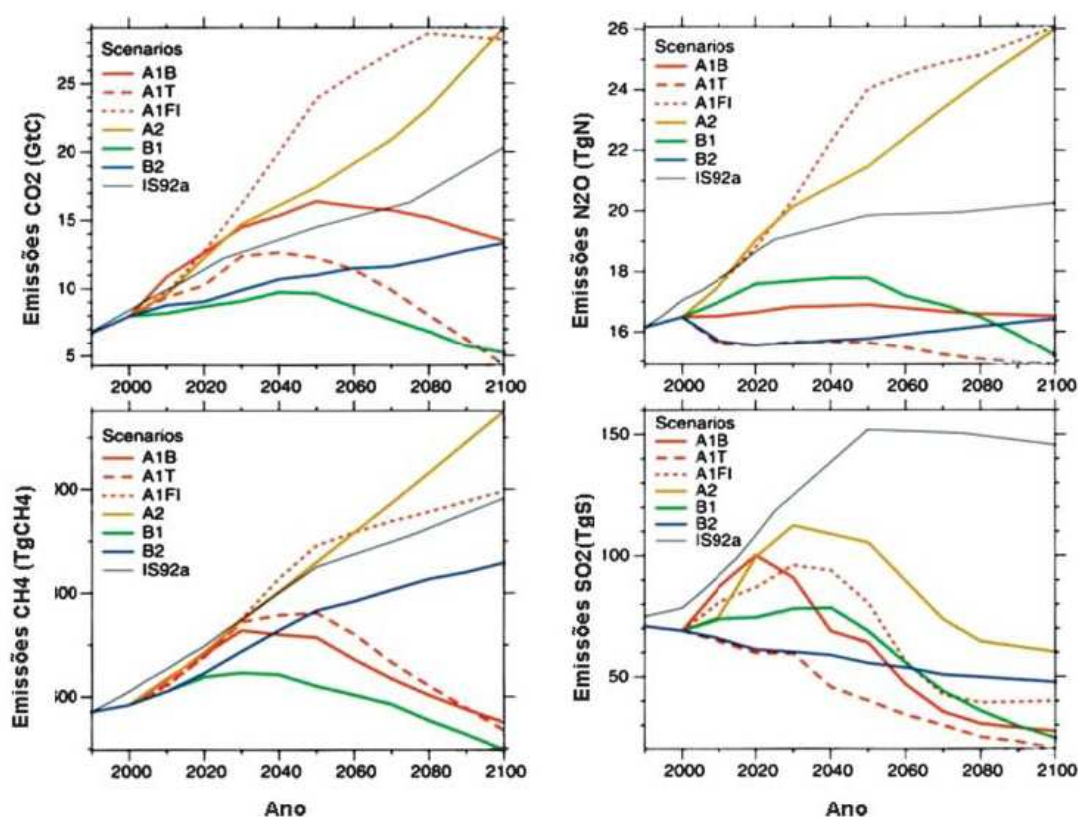


Figura 3.3 - Emissões antropogênicas (CO₂, N₂O, CH₄ e SO₂) para os seis cenários ilustrativos SRES: A1B, A2, B1, B2, A1F1 e A1T, e o cenário IS92a.

Fonte: IPCC (2007).

3.3.4 Quarta Etapa: Projeções de Cenários Agrícolas e Implicações de possíveis impactos em cultivares de pêssego e de nectarina.

Tendo como base os cenários climáticos gerados para o futuro, A2 e B2, nesta etapa do trabalho foi possível investigar o impacto que as projeções causariam nos cultivares de pêssego e de nectarina. Portanto, para a cumprimento desta etapa levou-se em consideração as principais peculiaridades destes cultivares em relação à variabilidade térmica da Região Sul do Brasil.

A temperatura do ar é um fator limitante aos diferentes cultivares de pêssego, sendo o principal regulador do metabolismo da planta, influenciando os processos de desenvolvimento e crescimento. No entanto, primeiramente, foi realizada uma análise de risco de geada, considerando os dados observados e os dados projetados pelo HadRM3P. Para cada dez dias (decêndio) foi verificado o número de dias com registro de geada, o qual foi obtido conforme equação a seguir:

$$RISCO\ DE\ GEADA = \frac{DIAS\ COM\ GEADA}{10} \times 100$$

Cada decêndio representa: decêndio 1 – *do dia 01 ao dia 10*; decêndio 2 - *do dia 11 ao dia 20* e decêndio 3 - *do dia 21 ao dia 30*.

Assim, procurou-se identificar as condições térmicas para os cultivos de pêssego e de nectarina em função da tolerância à geada. Nesta análise de risco de geada utilizou-se como limiar as temperaturas mínimas inferiores a 1°C, 2°C e 3°C (critério mais e menos exigentes), para os meses de julho, agosto e setembro. Estes critérios foram definidos de acordo com as diferentes metodologias aplicadas em cada um dos três Estados da Região Sul (HERTER et al., 2002; CARAMORI et al., 2008; MASSIGNAM; PANDOLFO, 2006). Segundo Pinto e Zullo (2010), geadas fracas ocorrem em noites de céu claro, sem ventos e baixa umidade do ar, em baixadas, com temperatura do ar ao redor dos 4 ou 5°C. Geadas moderadas ocorrem com temperatura entre 2 a 3°C e severas entre 0 e 2°C. Nessas condições, as folhas vegetais mais expostas atingem temperaturas de aproximadamente 5°C mais baixas do que a do ar. No Estado de Santa

Catarina, especialmente em regiões de *baixo vale*, é comum o registro de geada com temperaturas abaixo de 3°C.

Complementando a análise dos critérios importantes para o desenvolvimento do pessegueiro e da nectarineira, avaliou-se o número total de horas de frio inferior ou igual a 7,2°C, acumuladas para o período de abril a setembro. As horas de frio foram estimadas para um cenário atual e para dois cenários futuros (A2 e B2), em função das temperaturas mínimas provenientes do HadRM3P e através da equação de estimativa do total de horas de frio publicada por Massignam et al. (2007).

Posteriormente, a metodologia utilizada foi similar àquela aplicada ao zoneamento de riscos climáticos (ASSAD; PINTO, 2008). Quando se trabalha com o Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos, o objetivo principal, através de uma análise mais criteriosa, é a redução dos riscos associados aos fatores climáticos.

O programa de Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura e Abastecimento tem contribuído, desde o seu início (1996), para uma redução substancial das perdas agrícolas devidas a fatores climáticos (tais como chuva excessiva, geada e seca) que representavam 95% dos prejuízos registrados até 1995. O gerenciamento de riscos em agricultura é indispensável para produzir sob a força de mercados competitivos (MACHADO, 2009). Reduzir riscos é a base para otimizar o desempenho do negócio agrícola visando melhorar o controle dos processos de produção. A ocorrência de eventos adversos é bastante frequente na Região Sul do Brasil e é possível quantificar, com o uso de estudos climatológicos, a probabilidade de ocorrência destes eventos para áreas de interesse agrônomo (AGROCONSULT, 2009).

O zoneamento agrícola visa viabilizar soluções tecnológicas para um agronegócio competitivo, na medida em que seu foco central é, além de procurar reduzir os riscos climáticos na agricultura brasileira, orientar o crédito e o seguro agrícola para tomada de decisão referente ao calendário de plantio. Em outras palavras, decidir o que plantar, quando plantar e onde plantar, com menor risco de perda em função das adversidades climáticas, de ordem local e regional. Para que o zoneamento agrícola seja definido adequadamente, devem-se levar em consideração as exigências climáticas das culturas,

bem como avaliar a fenologia de cada espécie. É de fundamental importância estabelecer a relação de causa e efeito entre disponibilidade climática e cultura (AGROCONSULT, 2009). Este zoneamento agrícola associado ao risco climático é o principal instrumento de planejamento que dá suporte ao Seguro Agrícola (PROAGRO).

Os índices utilizados para delimitar as regiões de aptidão do pêssego foram determinados por meio de revisão bibliográfica juntamente com as respostas biológicas observadas por técnicos da Epagri em experimentos. Muitas informações sobre fenologia, ciclo, cultivares, entre outras, foram obtidas da avaliação de cultivares (EPAGRI, 2007).

Os solos foram classificados em três grupos de acordo com a capacidade de armazenamento de água:

- solo Tipo 1 - solos de textura arenosa (baixo armazenamento) – 100 mm;
- solo Tipo 2 - solos de textura média (médio armazenamento) – 125 mm;
- solo Tipo 3 - solos de textura argilosa (alto armazenamento) – 150 mm.

São aptos aos cultivos de pêssego e de nectarina, no Estado de Santa Catarina, os solos do tipo 2 e 3, observadas as especificações e recomendações contidas na Instrução Normativa nº 2, de 9 de outubro de 2008. Solos do tipo 1, de textura arenosa, não foram indicados para o plantio, por apresentarem baixa capacidade de armazenamento de água e alta probabilidade de quebra de rendimento das lavouras por ocorrência de déficit hídrico.

No entanto, para a definição das áreas aptas ao plantio, foram levados em consideração critérios de exigência climática para definição da classe preferencial do zoneamento agrícola do pêssego e da nectarina, pois ambos os cultivares apresentam as mesmas exigências. A definição destes critérios levou em consideração duas diferentes condições de exigência: baixa exigência em frio e alta exigência em frio, conforme descrição a seguir. Ambos os critérios foram aplicados para o cenário atual e para os cenários futuros.

a) Baixa Exigência em Frio

- Probabilidade de ocorrência de horas de frio ($\leq 7,2^{\circ}\text{C}$) acima de 150 horas deve ser superior a 0,8;
- Frequência de ocorrência de temperatura mínima abaixo de 3°C no florescimento deve ser inferior a 0,2;
- Área do município apta ao plantio deve ser superior a 20%.

Devido à variabilidade de altitude existente dentro de um mesmo município, foi necessário o estabelecimento de algumas indicações especiais quanto ao plantio. As classes então foram definidas como:

Preferencial – Sem restrições.

Tolerado – Recomendado para cotas altimétricas acima de 400 metros (para atender a exigência de horas de frio)

CNR – Cultivo não recomendado

b) Alta Exigência em Frio

- Probabilidade de ocorrência de horas de frio ($\leq 7,2^{\circ}\text{C}$) acima de 350 horas deve ser superior a 0,8;
- Frequência de ocorrência de temperatura mínima abaixo de 3°C no florescimento deve ser inferior a 0,2;
- Área município apta ao plantio deve ser superior a 20%.

Devido à variabilidade de altitude existente dentro de um mesmo município, foi necessário o estabelecimento de algumas indicações especiais quanto ao plantio. As classes então foram definidas como:

Preferencial – Sem restrições.

Tolerado – Recomendado para cotas altimétricas inferiores a 1200 metros (para não ter problemas com a geada nas regiões mais altas).

CNR – Cultivo não recomendado

Tendo estes critérios como base, foram gerados três cenários agrícolas para os cultivos de pêsego e de nectarina, um cenário atual e dois cenários futuros (2071-2100), A2 e B2. O detalhamento destes cenários climáticos está consonante com a abordagem descrita na seção anterior.

O cenário atual foi gerado com base na climatologia do Atlas Digital do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO et al., 2002), nas equações de estimativa do total anual de horas de frio menor ou igual a 7,2°C (MASSIGNAM et al., 2007) e nas equações de estimativas de temperaturas mínima, máxima e média para o Estado de Santa Catarina com base decendial (MASSIGNAM; PANDOLFO, 2006). A probabilidade de ocorrência da primeira e última geadas, para um risco de 0,8, foi calculada por equações de estimativa em função de coordenadas e altitude (PANDOLFO, 2010, aceito para publicação).

O zoneamento agrícola para os três cenários foram elaborados utilizando o *ZonExpert 1.0* (PANDOLFO et al., 1999), como ferramenta auxiliar para o cálculo e estimativa das variáveis climatológicas e cruzamento com os critérios da cultura. O *ZonExpert 1.0* tem como princípio simular o crescimento e desenvolvimento de uma determinada cultura em decêndios, que são períodos de dez dias, de acordo com as condições climáticas observadas e/ou estimadas de uma determinada região e as necessidades climáticas da cultura a ser zoneada. Foi gerada uma grade de pontos para todo o Estado de Santa Catarina, sendo cada faixa altimétrica (100 em 100 m) de cada município representada por um ponto georreferenciado. Esta grade de pontos foi cruzada com o modelo numérico do terreno obtido a partir do mapa hipsométrico do Estado, obtendo-se uma grade de pontos georreferenciada com suas altitudes correspondentes. Para cada ponto da grade foram estimados os valores das variáveis, probabilidade de geada e horas de frio para a condição atual e para as projeções futuras.

Os resultados finais do zoneamento foram organizados em tabelas para melhor entendimento das informações. Foi utilizando o software ILWIS 3.2 Academic para a espacialização dos resultados (interpolando os dados com *média móvel*). O mapa final

do zoneamento foi exportado para formato *shape* para a criação do layout do mapa utilizando o *software ArcGis 9.0*.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS PADRÕES DE TEMPERATURA DO AR DA REGIÃO SUL DO BRASIL

Existem diferentes fatores e elementos que contribuem para uma melhor caracterização do clima de uma determinada localidade. O padrão sazonal atmosférico predominante pode ser modificado por fenômenos climáticos de caráter interanual e de grande escala, como o ENSO (El Niño-Oscilação Sul), associados a anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) na região do Oceano Pacífico Equatorial, que influenciam a circulação geral da atmosfera modificando os padrões de clima em diversas partes do globo. No Sul do Brasil, o impacto do El Niño é percebido através de variações nos padrões de temperatura do ar e de precipitação, verificando-se um aumento da temperatura média e da precipitação. Com relação a La Niña os maiores impactos são registrados pelos déficits de chuva, caracterizado por períodos de secas severas.

Há variações intra-anuais que também influenciam as condições de clima em determinadas regiões, a exemplo do que ocorre na Região Sul do Brasil. A diferença de energia do Sol recebida pela superfície terrestre, ao longo dos meses, por exemplo, altera o comportamento de elementos climáticos tais como a temperatura do ar, a umidade, a pressão atmosférica, o vento e a precipitação, o que é mais perceptível nas principais estações do ano. No verão, as temperaturas são mais elevadas e, como o ar está mais rarefeito e menos denso, devido ao calor, as pressões atmosféricas são mais baixas. No inverno, ao contrário, ocorrem temperaturas mais baixas e pressões atmosféricas mais elevadas. Entre ambas, nas chamadas estações de transição, outono e primavera, há um aumento ou diminuição gradual da temperatura e da pressão atmosférica. Porém, com o passar dos anos, estas características sazonais tem se alterado, com padrões diferenciados a cada ano, em decorrência, principalmente, de registros de extremos. Observam-se verões com temperaturas mais elevadas que o

normal, assim como verões, com períodos de temperaturas mais baixas que o esperado para o período. Do mesmo modo, observaram-se invernos com dias consecutivos registrando temperaturas acima do esperado para esta época do ano.

Os elementos climáticos apresentam ainda um padrão de oscilação diurna. No caso da temperatura do ar, a variação ao longo do dia está associada à variação da radiação solar. À noite, ocorre o resfriamento da superfície terrestre por perda radiativa e a temperatura do ar atinge seu valor mínimo no horário próximo ao nascer do sol. A maior temperatura do dia ocorre no começo da tarde, em associação ao pico máximo de radiação solar observado ao meio-dia. A umidade relativa do ar, no entanto, apresenta uma variação diurna inversa à observada em relação à temperatura: fica mais elevada na madrugada e amanhecer, com pico máximo no horário próximo ao nascer do sol, diminuindo até atingir seu valor mínimo no começo da tarde. Em geral, períodos chuvosos estão associados ao maior predomínio de nuvens, o que inibe a perda de radiação terrestre no período noturno e o aquecimento diurno por radiação solar, resultando em anomalias positivas de temperaturas mínimas e negativas de máximas. Períodos mais secos, ao contrário, favorecem a perda de radiação terrestre noturna e maior aquecimento diurno, resultando em diminuição da temperatura mínima e aumento da máxima. Além das condições atmosféricas predominantes em determinadas regiões, fatores como altitude, latitude e vegetação influenciam o comportamento dos elementos climáticos, pelo menos em níveis local e regional.

4.1.1 MÉDIAS ANUAIS E SAZONAIS

A seguir apresenta-se a análise anual e sazonal com base nas séries diárias de temperatura do ar referentes às estações meteorológicas citadas nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, considerando como período padrão o período de 1961 a 2008. É preciso salientar que a falta de informações meteorológicas locais não possibilitou uma representação completamente realística das condições climáticas locais; mesmo assim, com as informações disponíveis foi possível uma representação climática em nível regional mais próxima da realidade possível. Obter conhecimentos dos cenários atuais de

temperatura do ar para a Região Sul do Brasil é de fundamental importância para que na abordagem dos cenários futuros possa se ter um conhecimento prévio do clima atual desta região e de suas respectivas alterações, não só em escalas anual e sazonal, mas também em escala mensal.

As diferenças térmicas regionais são extremamente notáveis, marcadas pela extensão longitudinal, latitudinal e, principalmente, pelas peculiaridades que a Região Sul possui em relação a altitudes elevadas (Figura 4.1). O Estado de Santa Catarina destaca-se pelo relevo acentuado e altitudes contrastantes, especialmente entre a zona costeira e o planalto, onde são registradas as maiores amplitudes térmicas diárias. Nesta região, a diferença de altitude chega a mais de 1000 m. Desta forma, pode-se considerar a altitude como um dos principais condicionantes da temperatura do ar.

O efeito da altitude pode ser verificado na Figura 4.2. Os menores valores de temperatura média anual foram observados em altitudes superiores a 1000 m: em São Joaquim (13,3°C), no Planalto Sul do Estado Catarinense, e em Bom Jesus (14,7°C), no nordeste Rio-Grandense. Os maiores valores da temperatura média anual concentram-se no norte do Paraná (22,2°C em Paranavaí) e no interior oeste do Rio Grande do Sul (20,2°C em São Luiz Gonzaga). Nas demais localidades da Região Sul do Brasil, a temperatura média anual variou entre 16 e 20°C.

Observa-se que as estações localizadas em altitudes mais baixas, inferiores a 100 m, apresentaram valores elevados de temperatura média e, entre estas, o efeito latitudinal ficou evidente. Aquelas situadas na costa centro-norte da Região Sul do Brasil apresentaram temperaturas mais elevadas em relação às da costa sul (Figura 4.2).

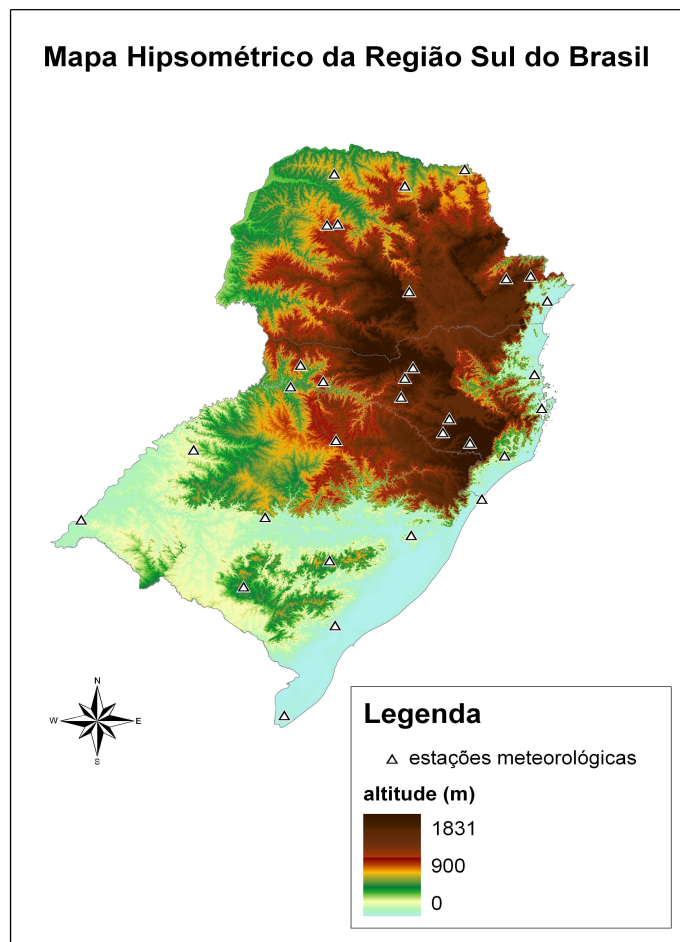


Figura 4.1 – Topografia da Região Sul do Brasil.

Fonte de dados: Modelo de elevação SRTM – NASA

A distribuição espacial das temperaturas máxima e mínima apresentou característica semelhante às médias (Figuras 4.3 e 4.4), porém com amplitudes um pouco maiores entre as diferentes localidades.

Entre as diferentes estações meteorológicas observadas, as variações climáticas da temperatura máxima foram de 23,4°C a 30°C no Estado do Paraná (Curitiba e Cambará, respectivamente), de 18,8 a 26,3°C em Santa Catarina (São Joaquim e Urussanga) e de 20,7 a 27,3°C no Rio Grande do Sul (Bom Jesus e Iraí), conforme pode ser observado na Figura 4.3. Os menores valores de temperatura máxima média anual foram observados nas regiões serranas.

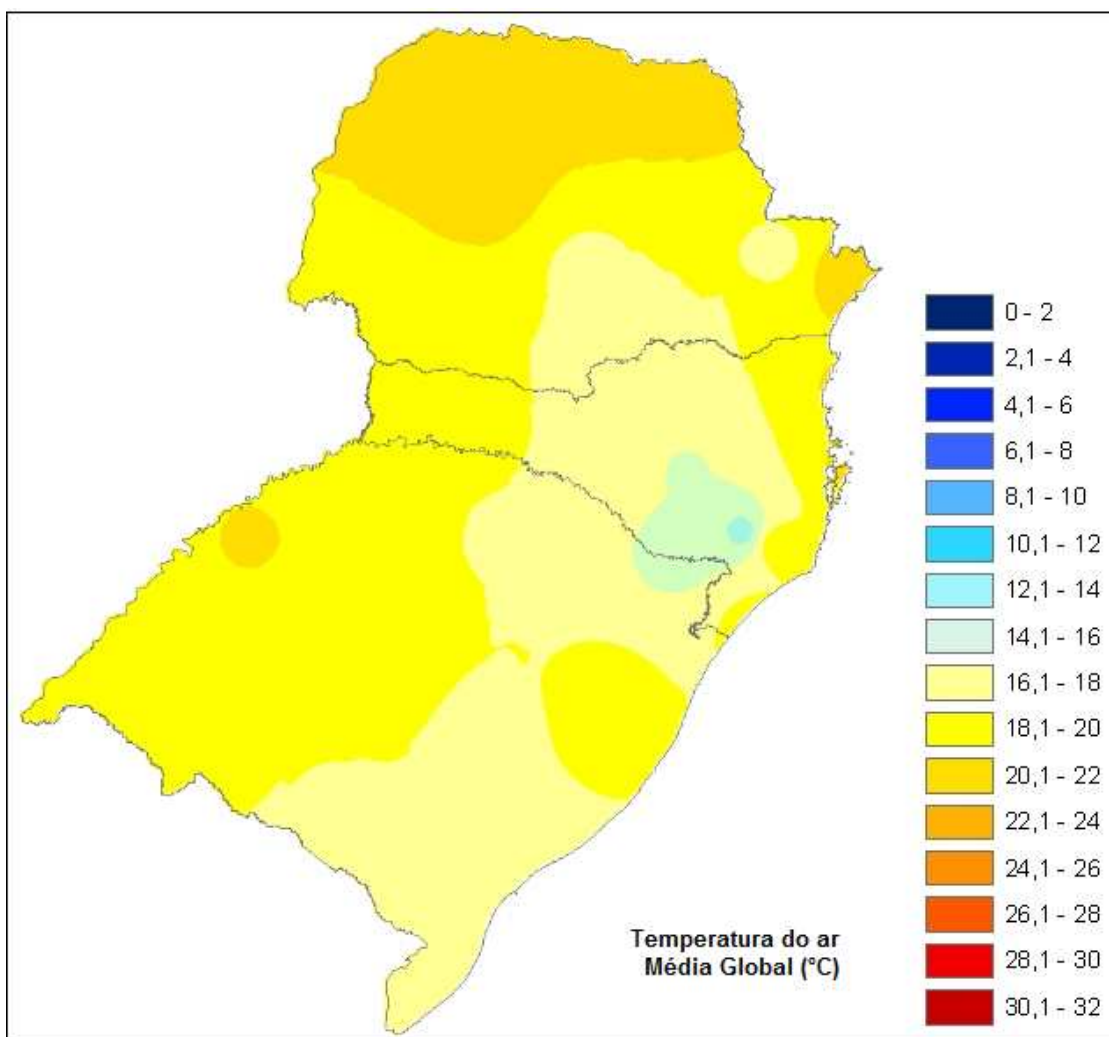


Figura 4.2 - Temperatura média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

Conforme se observa na Figura 4.4, os menores valores médios de temperatura mínima anual ocorreram em São Joaquim (9,2°C), região serrana catarinense, em Bom Jesus (10,6) e em Caçador (10,9), cujas altitudes são de 1376 m, 1047 m e 960 m, respectivamente. Nas demais regiões as variações de temperatura mínima média anual ocorreram entre 11 e 18°C. No Norte do Paraná e litoral centro-norte da Região Sul concentram-se os maiores valores de temperatura média anual.

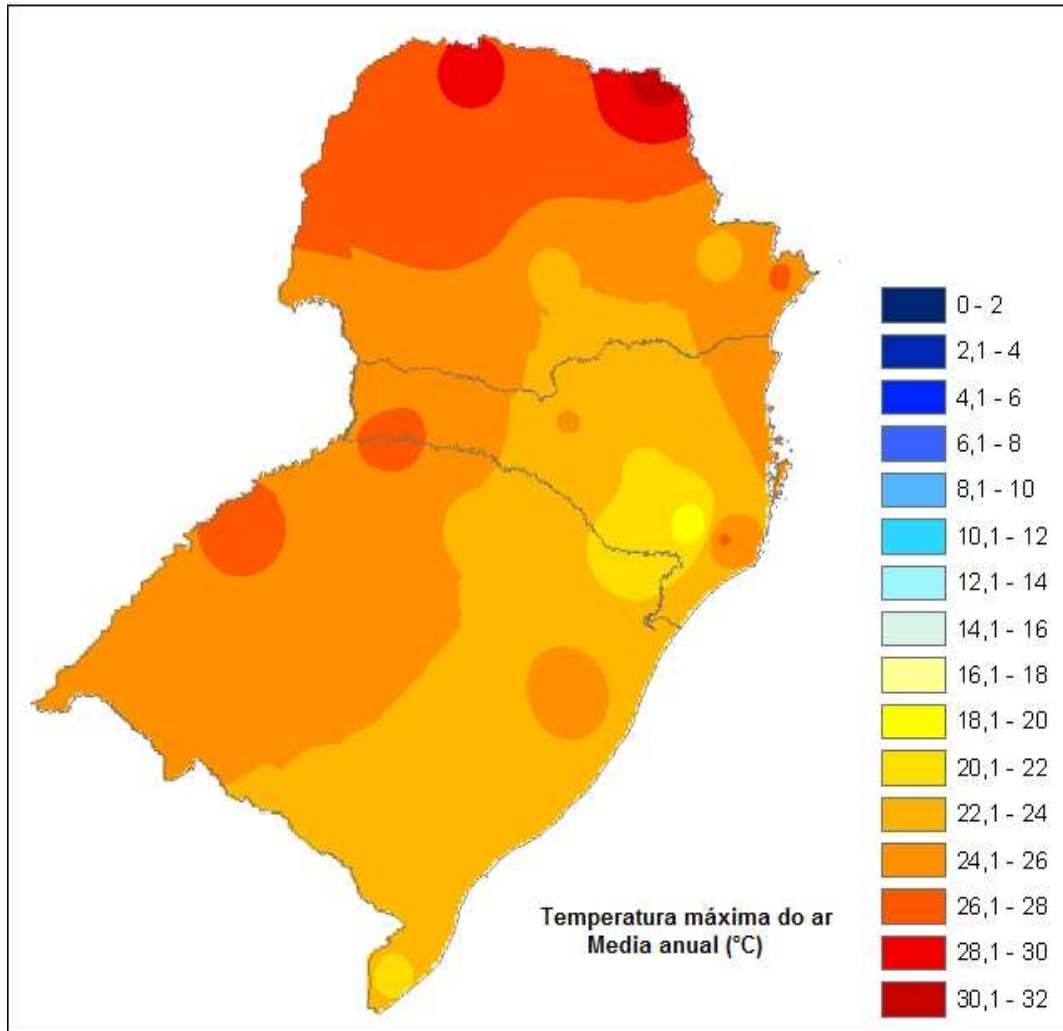


Figura 4.3 – Temperatura máxima média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

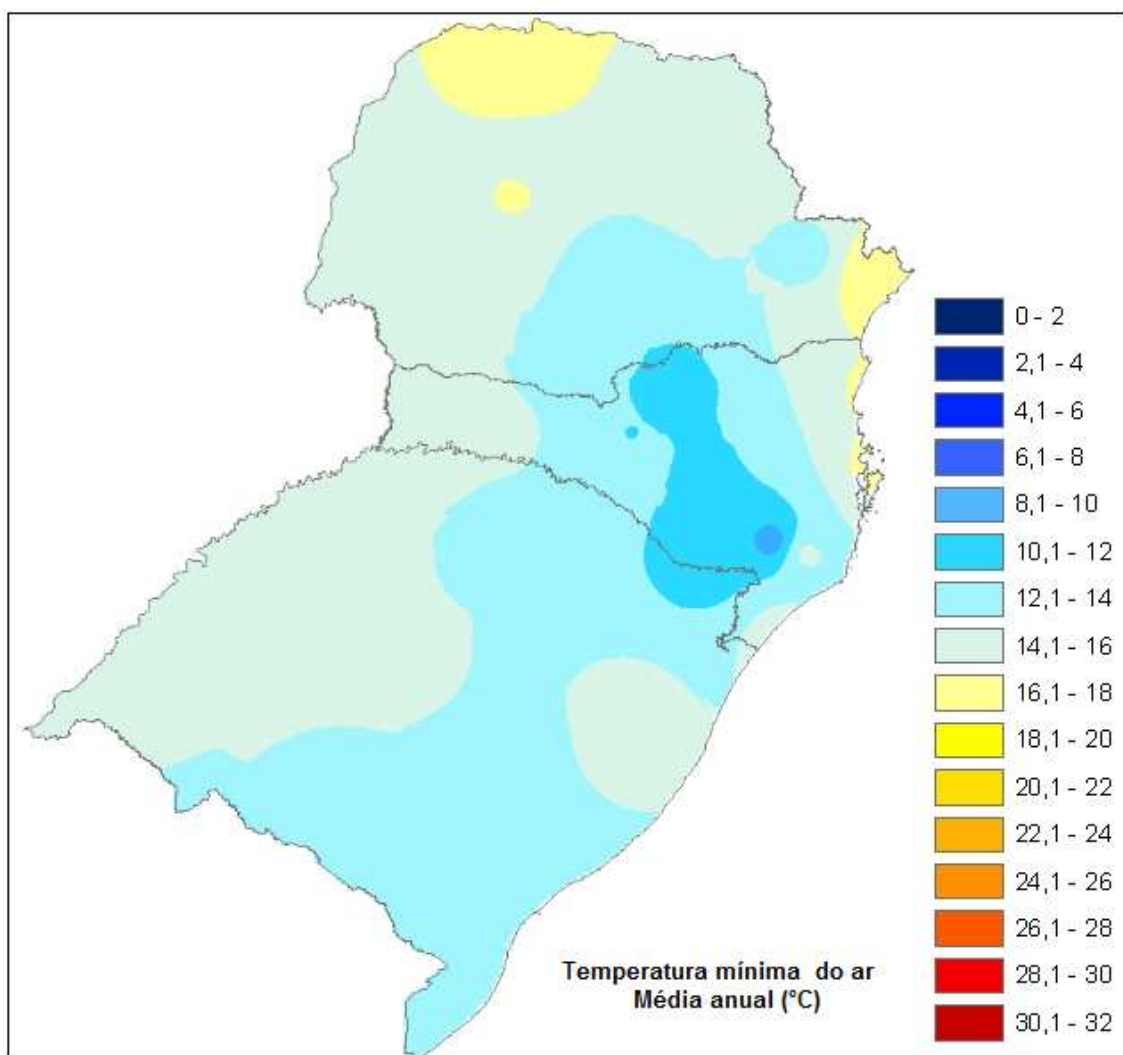


Figura 4.4 – Temperatura mínima média anual (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

A Região Sul do Brasil apresentou, de modo geral, as quatro estações do ano bem definidas: um verão relativamente quente e um inverno frio (Figuras 4.5 a 4.7). As estações de transição outono e primavera apresentaram temperaturas amenas, registrando uma maior amplitude térmica diária. A distribuição espacial das temperaturas sazonais seguiu o padrão das temperaturas médias anuais, ou seja, com temperaturas mais elevadas na costa centro-norte do litoral sul (com máximos no verão) e temperaturas mais baixas nas regiões mais elevadas dos Estados Catarinense e Rio-grandense.

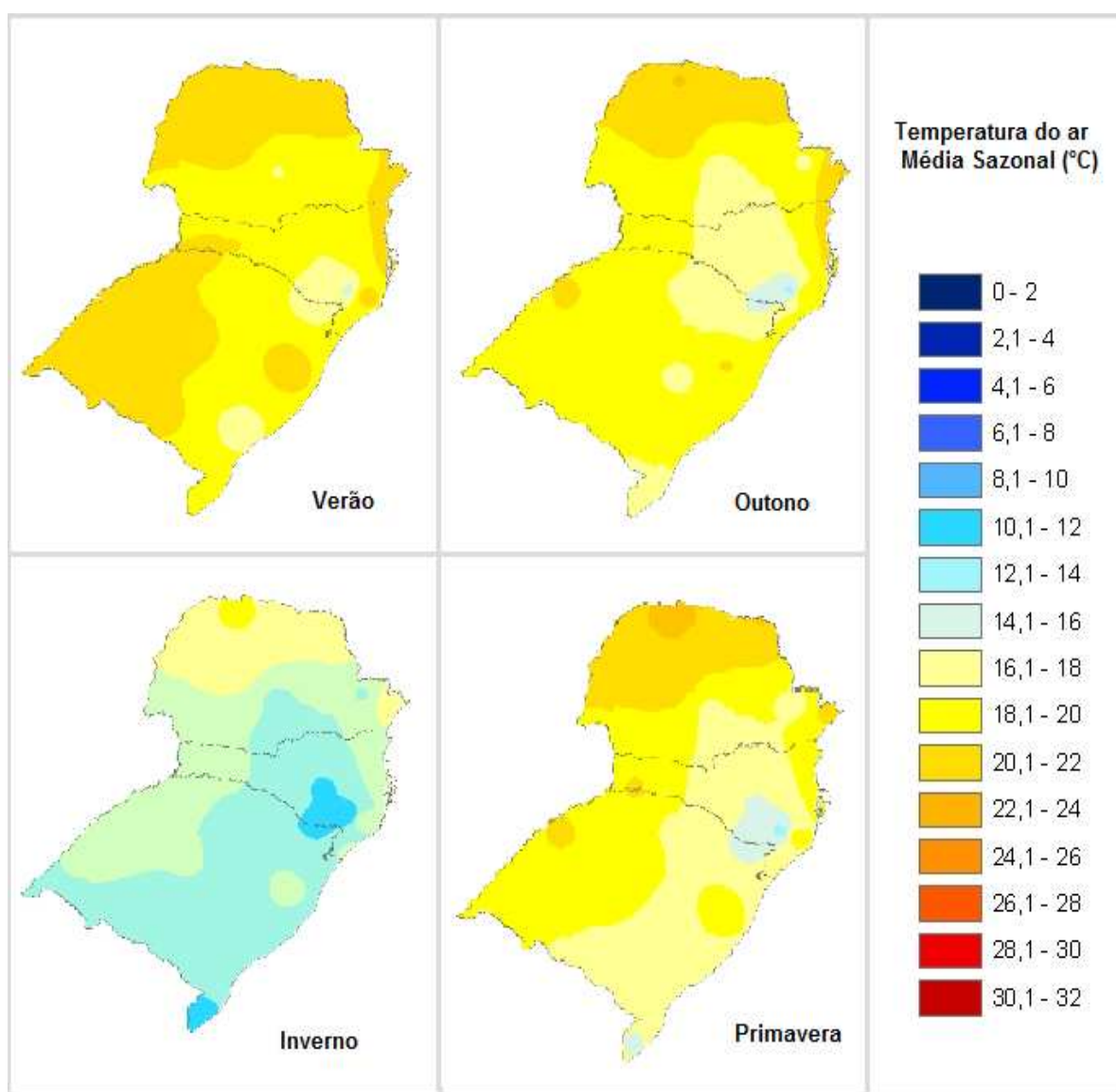


Figura 4.5 – Temperatura média sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

O verão caracterizou-se pelas altas temperaturas, com a média das máximas variando entre 22,7°C (São Joaquim, SC) e 31,8°C (Iraí, RS). Nesta época do ano, o menor valor médio sazonal ficou em torno de 12,7°C em São Joaquim e de 14,3°C em Bom Jesus. Na estação mais fria do ano, no inverno, em média, a temperatura mínima do ar variou entre 6,2°C e 14,4°C, enquanto que a média das máximas não superou os 26°C.

Entre as estações intermediárias, o outono se caracterizou por um padrão mais quente do que o da primavera, com valores mais elevados de temperatura do ar. Ocorre que março e abril são meses quentes e menos chuvosos, com predomínio de poucas nuvens, o que favorece a temperaturas mais elevadas. Segundo Camargo et al. (2009), ao analisar o número de horas de frio, a primavera tem-se destacado por apresentar aumento da intensidade e frequência de HF em anos mais recentes, ou seja, mostrando que o frio tem se deslocado para esta estação (frio e geadas tardias).

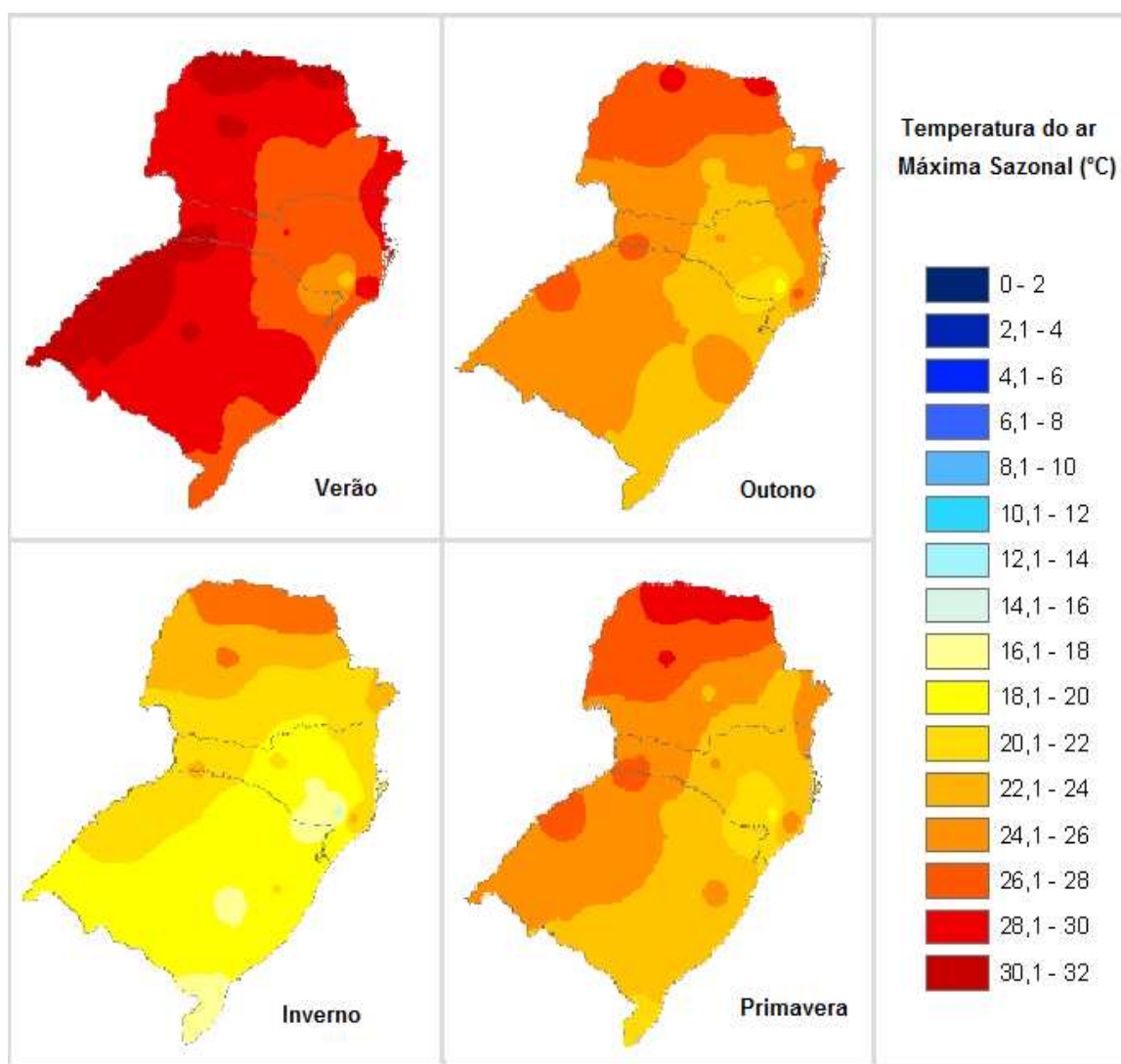


Figura 4.6 – Temperatura máxima média sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

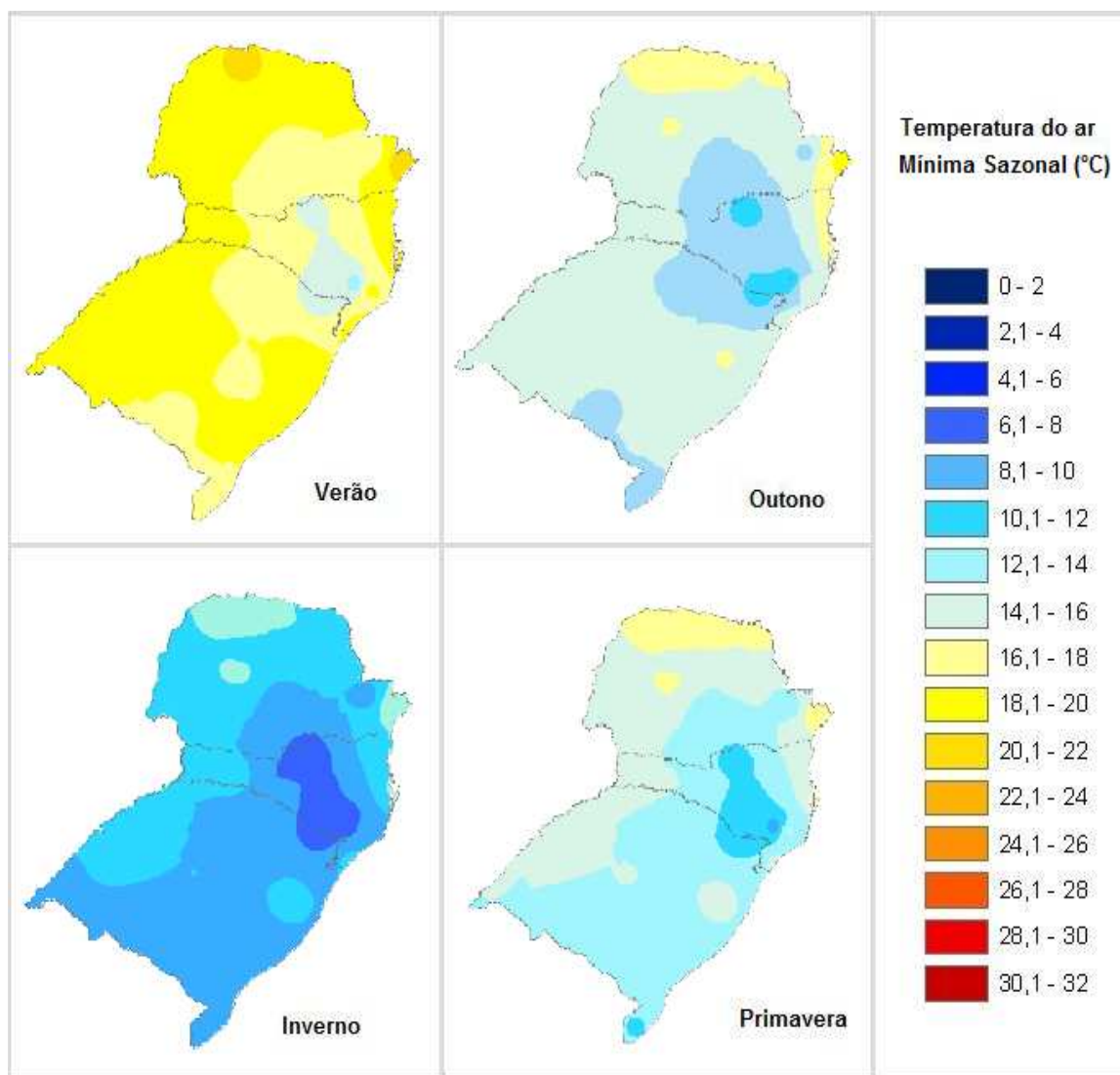


Figura 4.7 – Temperatura mínima sazonal (°C) nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

Com o passar dos anos, anomalias positivas da temperatura do ar, máxima e mínima, têm sido mais frequentes, especialmente, nos últimos 30 anos (Figura 4.8). Do mesmo modo que em nível global (Climate Research Unit, 2009), ao comparar as médias anuais em relação ao período 1961-1990, observou-se que as maiores anomalias ocorreram em anos mais recentes, com destaque a década passada (2000-2008), na qual a anomalia média de ambas as temperaturas máxima e mínima, para a Região Sul do Brasil foi superior aos demais anos.

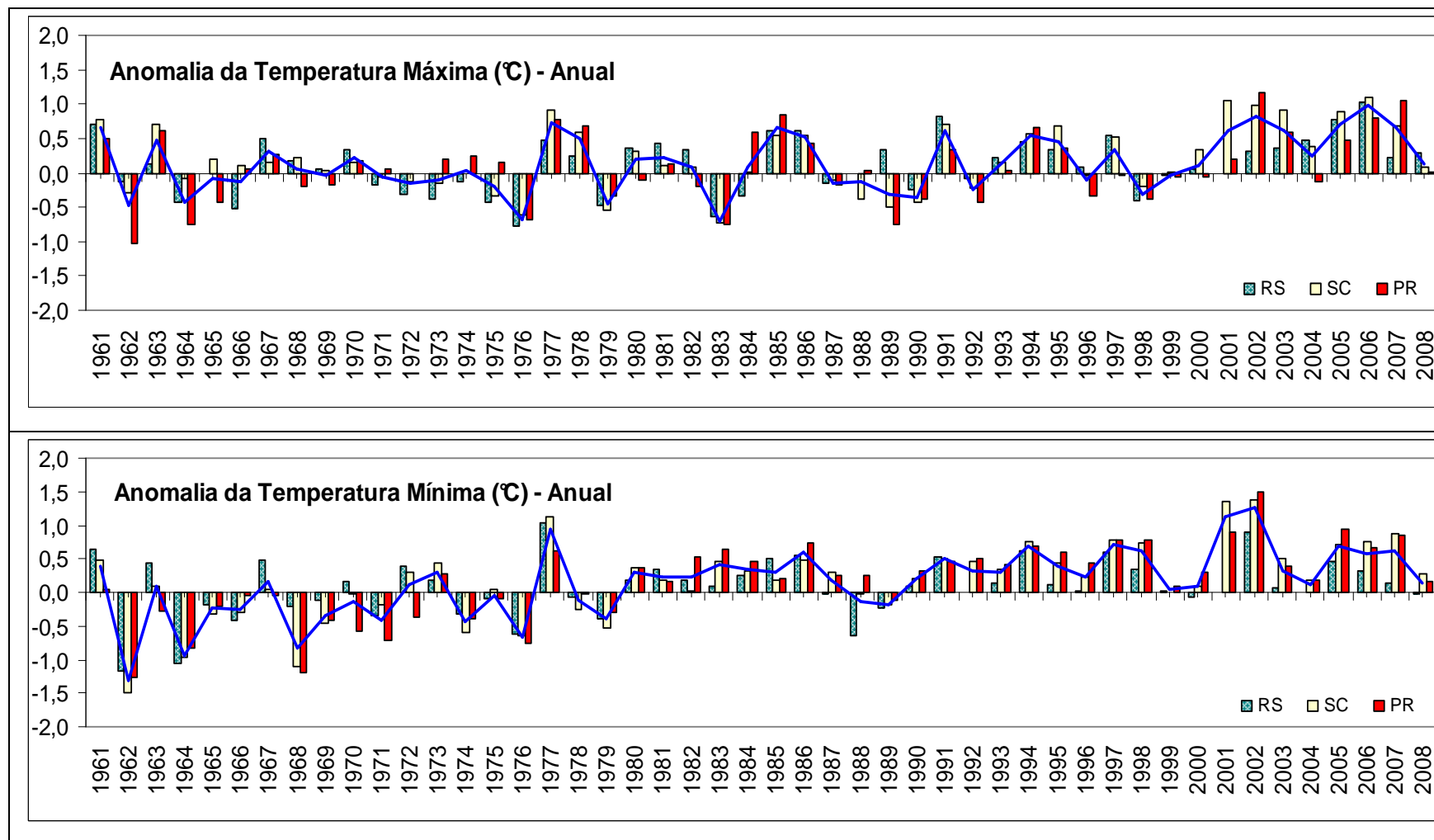


Figura 4.8 – Anomalias das temperaturas do ar, máxima e mínima, referentes ao período de 1961-1990, em nível anual, para os três Estados da Região Sul do Brasil. A linha contínua representa a anomalia média da região.

Anomalias das temperaturas máximas com variações superiores a 1°C foram mais frequentes nos últimos anos, conforme se observa na Tabela 4.1. Nestes casos foram computados apenas os anos em que o número de estações meteorológicas com dados disponíveis foi superior a 60% do número total de estações meteorológicas (31 estações). Em algumas localidades, ambas as temperaturas máxima e mínima, foram 2,4°C/ano superiores à média do período 1961-1990.

Tabela 4.1 – Número de anomalias anuais de temperatura máxima do ar com aumento superior a 1°C (significativos a um intervalo de 95% de confiança).

	TMAX	TMIN		TMAX	TMIN
1961	1	2	1985	3	1
1962	*	0	1986	1	1
1963	0	0	1987	1	0
1964	0	0	1988	0	0
1965	0	0	1989	2	0
1966	0	0	1990	0	0
1967	3	2	1991	3	2
1968	0	0	1992	0	1
1969	0	0	1993	0	0
1970	0	0	1994	2	3
1971	0	0	1995	2	1
1972	0	1	1996	0	0
1973	0	1	1997	2	3
1974	1	0	1998	0	5
1975	0	0	1999	0	0
1976	0	0	2000	0	0
1977	2	12	2001	*	*
1978	3	0	2002	10	19
1979	0	0	2003	7	0
1980	0	1	2004	2	0
1981	0	1	2005	9	6
1982	0	1	2006	13	4
1983	0	3	2007	6	7
1984	2	1	2008	0	0

Em nível sazonal, também foi possível verificar um aumento das temperaturas máximas e mínimas com o passar dos anos, em especial nos últimos 20 anos, porém com diferenças sazonais, especialmente entre o verão e o inverno (Figuras 4.9 a 4.12).

Em anos mais recentes (2000-2008), no verão o aumento da temperatura máxima foi mais expressivo que o da mínima, enquanto que no inverno, ambas as temperaturas tenderam a aumentar. Nas estações intermediárias, assim como no verão e no inverno, o sinal de aumento das temperaturas máximas e mínimas foi bastante evidente. De modo geral, os resultados mostraram que o aumento da temperatura mínima do ar ocorreu em anos anteriores quando comparado ao aumento da temperatura máxima, o qual foi caracterizado de forma mais intensa em anos mais recentes.

A partir destas análises iniciais foi possível observar que a variabilidade da temperatura máxima do ar, em relação ao período de 1961-1990, diferenciou-se da temperatura mínima. Com o passar dos anos o aumento das temperaturas mínimas anuais e sazonais foi bastante claro, especialmente a partir da década de 80. Por outro lado, a temperatura máxima do ar muitas vezes manteve-se próxima da média climatológica, por vezes foi acima ou em outras vezes foi abaixo, apresentando certa oscilação ano a ano. Porém, observou-se que nos últimos 10 anos, aproximadamente, as anomalias positivas de temperatura máxima persistiram, o que provavelmente refletiu na variabilidade da amplitude térmica (DTR – diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima) nestes últimos anos.

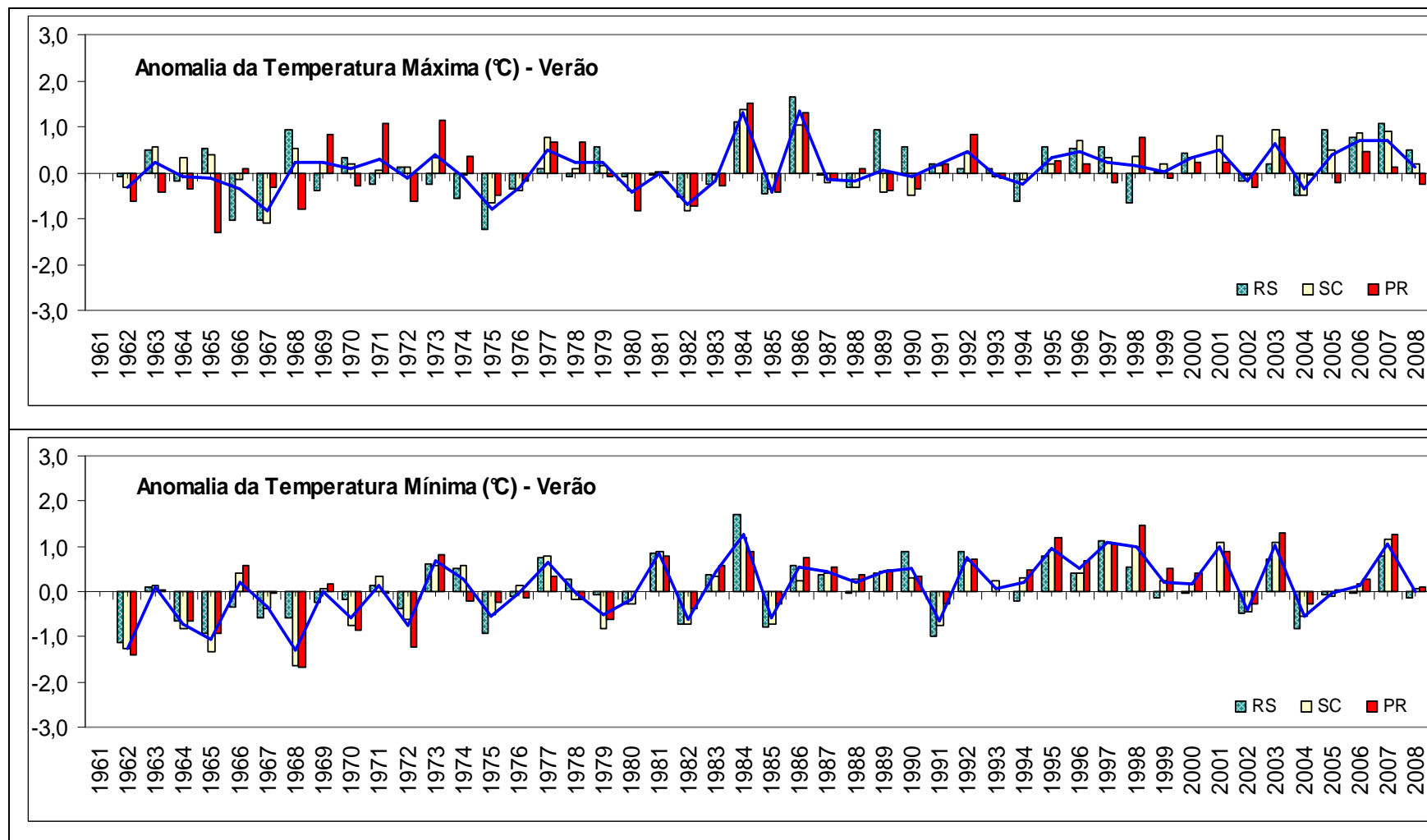


Figura 4.9 – Anomalia da Temperatura do ar, máxima e mínima, referente ao período de 1961-1990, em nível sazonal (verão – Dez/Jan/Fev), para os três Estados da Região Sul do Brasil. A linha contínua representa a média da região.

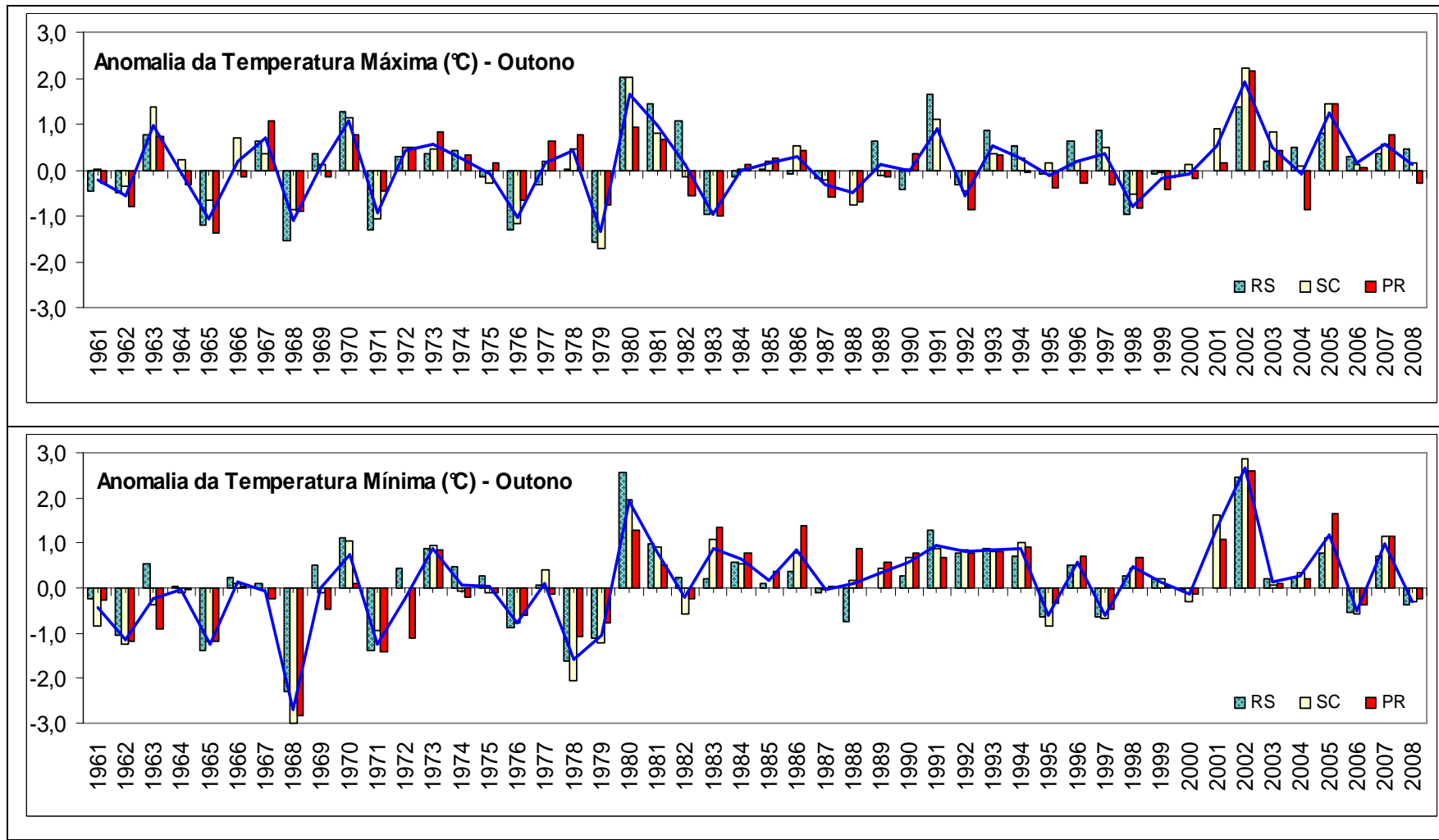


Figura 4.10 – Idem à Figura 4.9, porém para o Outono (Mar/Abr/Mai).

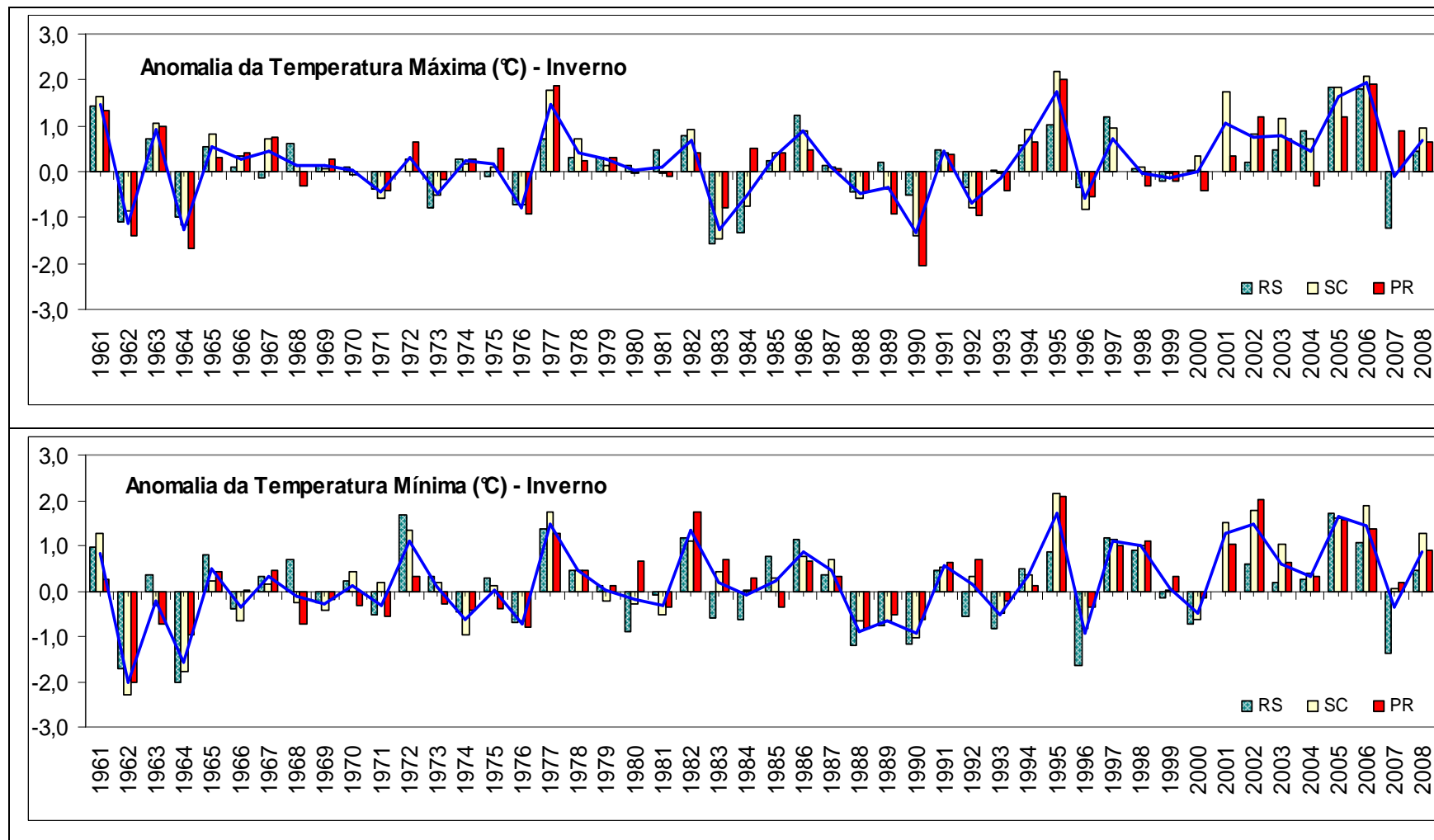


Figura 4.11 – Idem à Figura 4.9, porém para o Inverno (Jun/Jul/Ago)

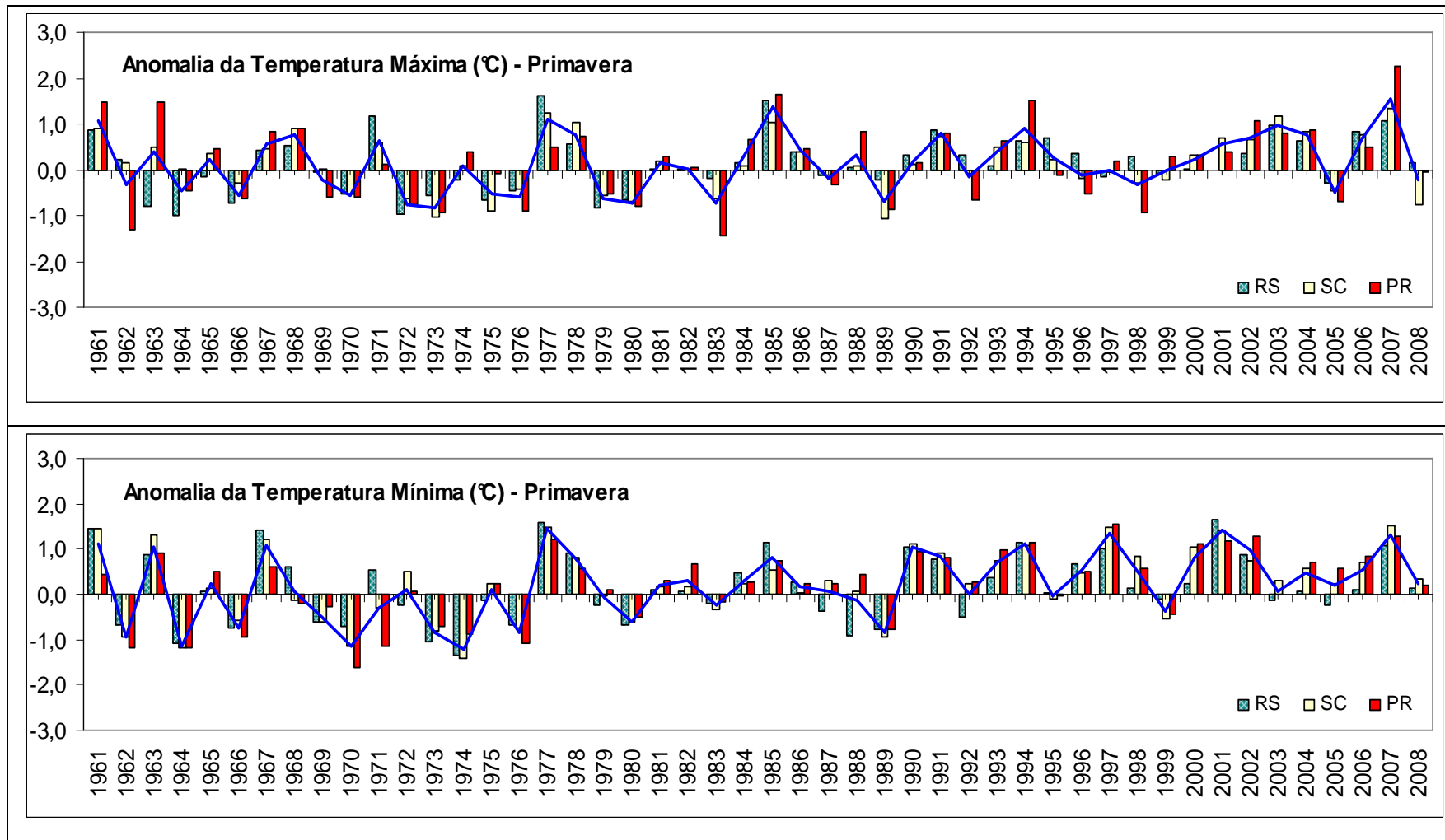


Figura 4.12 – Idem à Figura 4.9, porém para a Primavera (Set/Out/Nov).

Segundo Camargo (2004), o aumento diferenciado entre as temperaturas do ar máxima e mínima gerou uma diminuição da amplitude térmica com o passar dos anos. Segundo os autores, os resultados mostraram uma significativa diminuição da amplitude térmica na década de 90, por efeito do aumento mais expressivo das temperaturas mínimas que as máximas, que por vezes até diminuía. Resultados semelhantes foram descritos no último relatório do IPCC (2007).

No presente estudo, que complementa o de Camargo (2004), ao analisar as anomalias ano a ano das temperaturas máximas e mínimas observou-se, de modo geral, tendências mais significativas de temperatura máxima. Desta forma, a questão que permanece como uma incógnita é como a amplitude térmica responderá a esta variabilidade diferenciada da temperatura máxima na Região Sul do Brasil.

Foram analisadas as anomalias de temperatura máxima, temperatura mínima e da amplitude térmica em 4 diferentes períodos, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008 (Figuras 4.13 a 4.27). Os sinais positivos (+) em vermelho equivalem aos desvios positivos e os traços (-) em azul equivalem aos desvios negativos; os tamanhos dos sinais são proporcionais às anomalias expostas na escala (parte inferior da figura). Estas análises foram realizadas em relação à média do período de 1961-1990 (período usado como referência pela OMM). Para a análise de significância foi aplicado o teste *t Student*, a um nível de confiança de 95%.

Em conformidade com os resultados encontrados anteriormente, os desvios da temperatura na Região Sul do Brasil tenderam a aumentar ao longo do período (1961-2008), tanto nas análises da temperatura máxima como da temperatura mínima, com aumentos mais expressivos a partir da década de 80 e em especial no inverno (Figuras 4.13 a 4.22).

Ao analisar as variações da amplitude térmica (Figuras 4.23 a 4.27), verificou-se que até o final da década de 90 a temperatura mínima diária aumentou em maior proporção que a temperatura máxima; pois, na maioria das estações, a amplitude térmica apresentou

tendências negativas ao longo do período (em azul) e com maiores intensidades na década de 90 (1990-1999). Estes resultados são coerentes com os resultados mostrados no IPCC (2007) e por outros autores, tais como por Rusticucci e Barrucand (2001) e por Carter (2004).

Entretanto, a década passada (2000-2008) apresentou um padrão diferenciado para a amplitude térmica, consonante com as anomalias positivas de temperatura máxima que se destacaram nestes últimos anos em relação aos anos anteriores. Segundo relatório da NOAA (2010), a última década foi a mais quente da história, com temperaturas superiores a $0,54^{\circ}\text{C}$ em relação aos valores normais, o que pode ser percebido na Região Sul do Brasil, tanto nos resultados da temperatura máxima, quanto da mínima. O fenômeno El Niño, que é o aquecimento anormal de águas do Pacífico, foi indicado como responsável pelo calor. O ano mais quente já registrado foi 1998, também devido ao El Niño, enquanto que o forte efeito La Niña, que esfriou o Oceano Pacífico, fez de 2008 o ano mais frio da década.

As condições atmosféricas da Região Sul do Brasil foram influenciadas neste período por consecutivos episódios de El Niño: 4 eventos foram computados no período de 2000-2008 (CPTEC, 2010), considerando que no Sul do Brasil o impacto do El Niño é percebido através de variações nos padrões de temperatura do ar, além das alterações nos padrões de chuva. Em contraste, este mesmo período (2000-2006) também foi marcado por episódios de estiagem no sul do Brasil, o que influenciou na ocorrência de temperaturas mais elevadas, a exemplo das estiagens observadas no oeste catarinense (Tabela 4.2), as quais foram descritas por Sacco (2010).

No presente estudo, não foi possível analisar as modificações do uso do solo que ocorreram em cada uma das estações meteorológicas, devido a não disponibilidade de tempo, mas os aumentos encontrados das temperaturas máximas e mínimas nas análises acima, assim como a diminuição da amplitude térmica, também podem ser justificados pelas variações que ocorrem no meio ambiente de um determinado local (KALNAY; CAI, 2003), tais como a modificação da cobertura vegetal (uso inadequado do solo,

desmatamento, queimadas), substituição de áreas rurais por centros urbanos, crescimento de áreas urbanas, entre outros.

Tabela 4.2 Eventos de estiagem na Mesorregião Oeste Catarinense entre 2001 e 2006.

Evento	Período
1	Julho 2001 a Agosto 2001
2	Outubro 2001
3	Dezembro 2001 a Abril 2002
4	Julho de 2002
5	Mai 2003 a Setembro 2003
6	Janeiro de 2004 a Abril 2004
7	Junho 2004 a Agosto 2004
8	Novembro 2004 a Março 2005
9	Mai 2005 a Agosto 2005
10	Novembro 2005 a Fevereiro 2006
11	Mai 2006 a Julho 2006
12	Outubro 2006 a Dezembro 2006

Fonte: Sacco (2010)

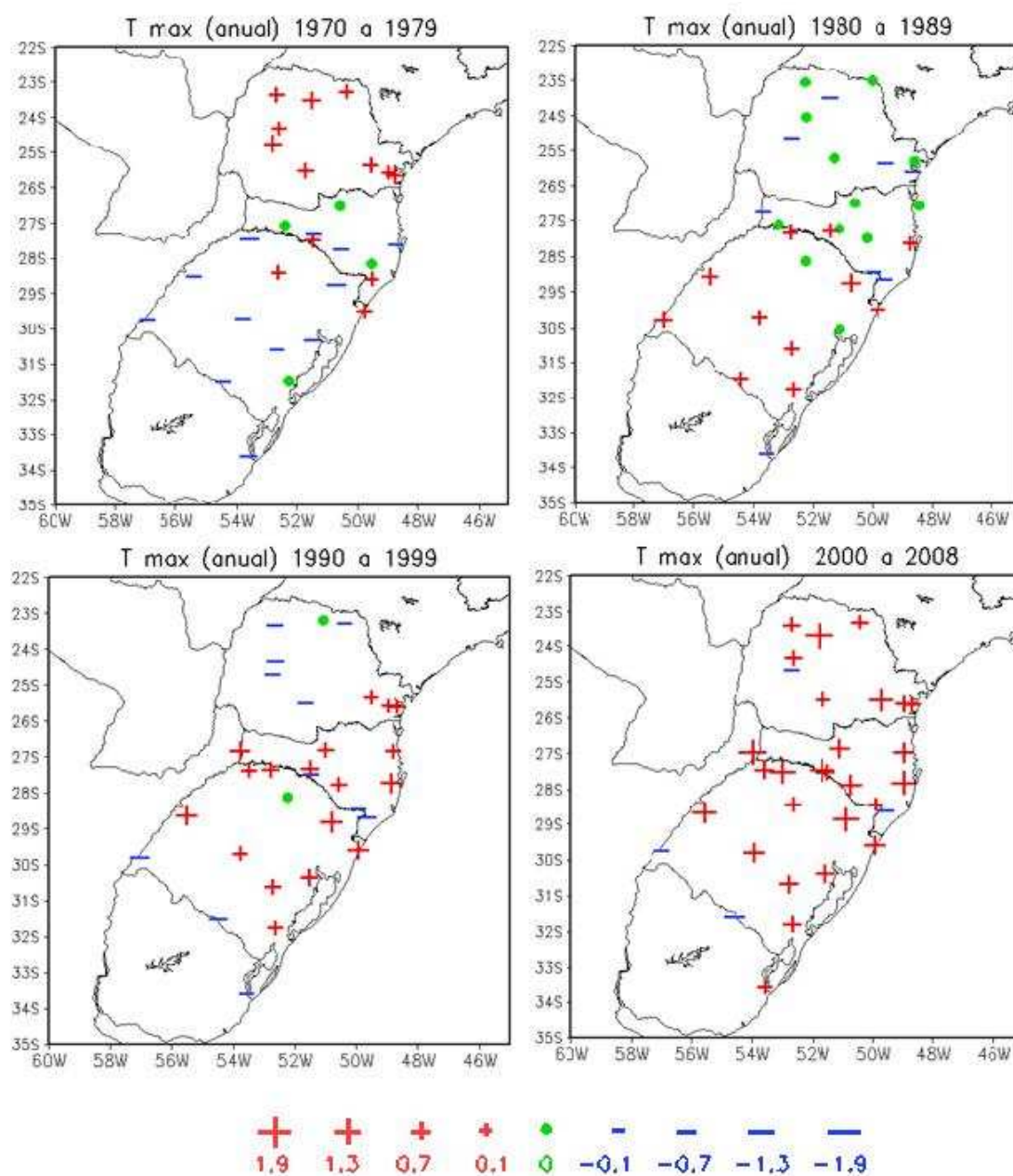


Figura 4.13 – Distribuição em nível anual das tendências das temperaturas máximas diárias da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em vermelho equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.

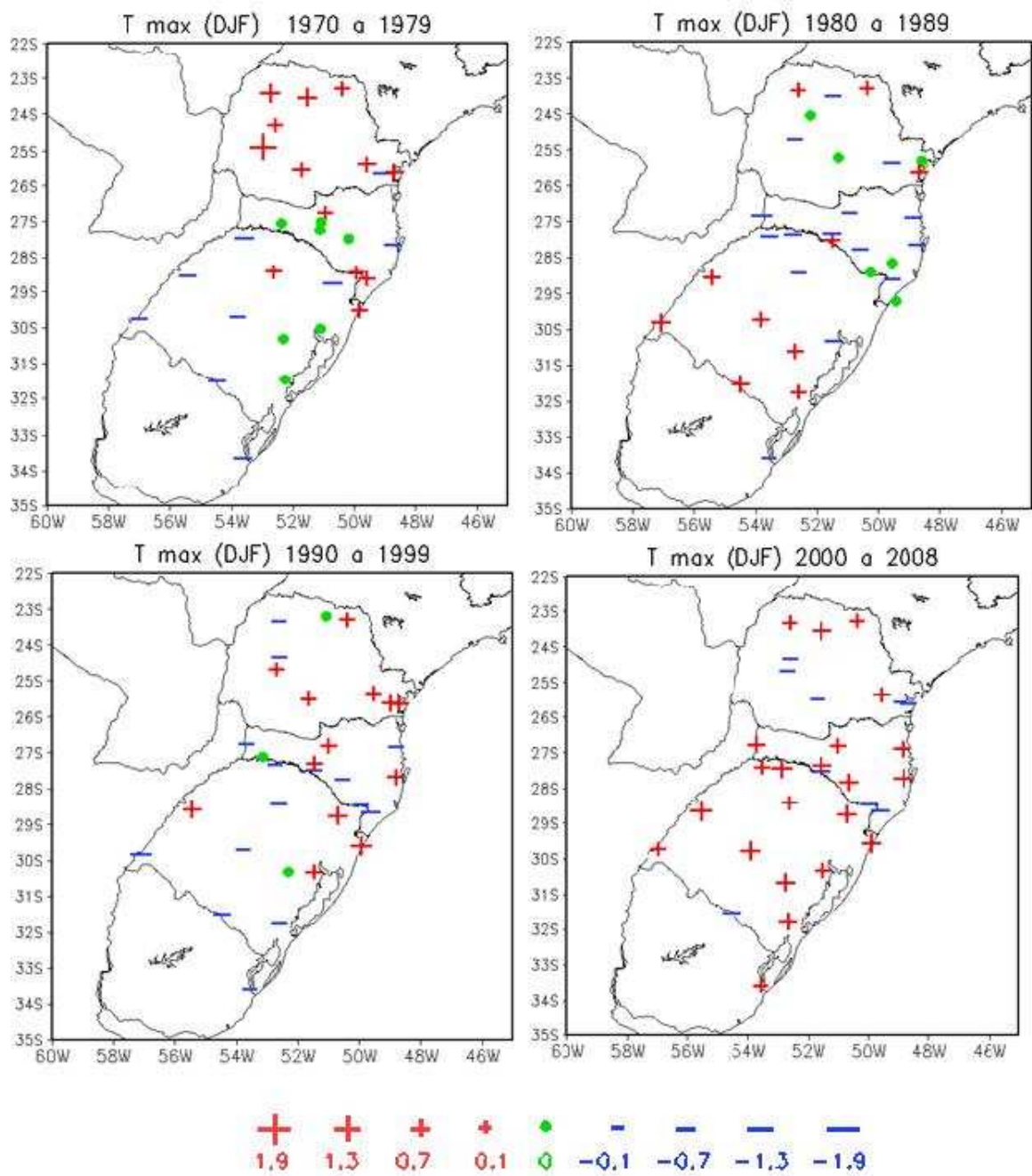


Figura 4.14 – Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (verão).

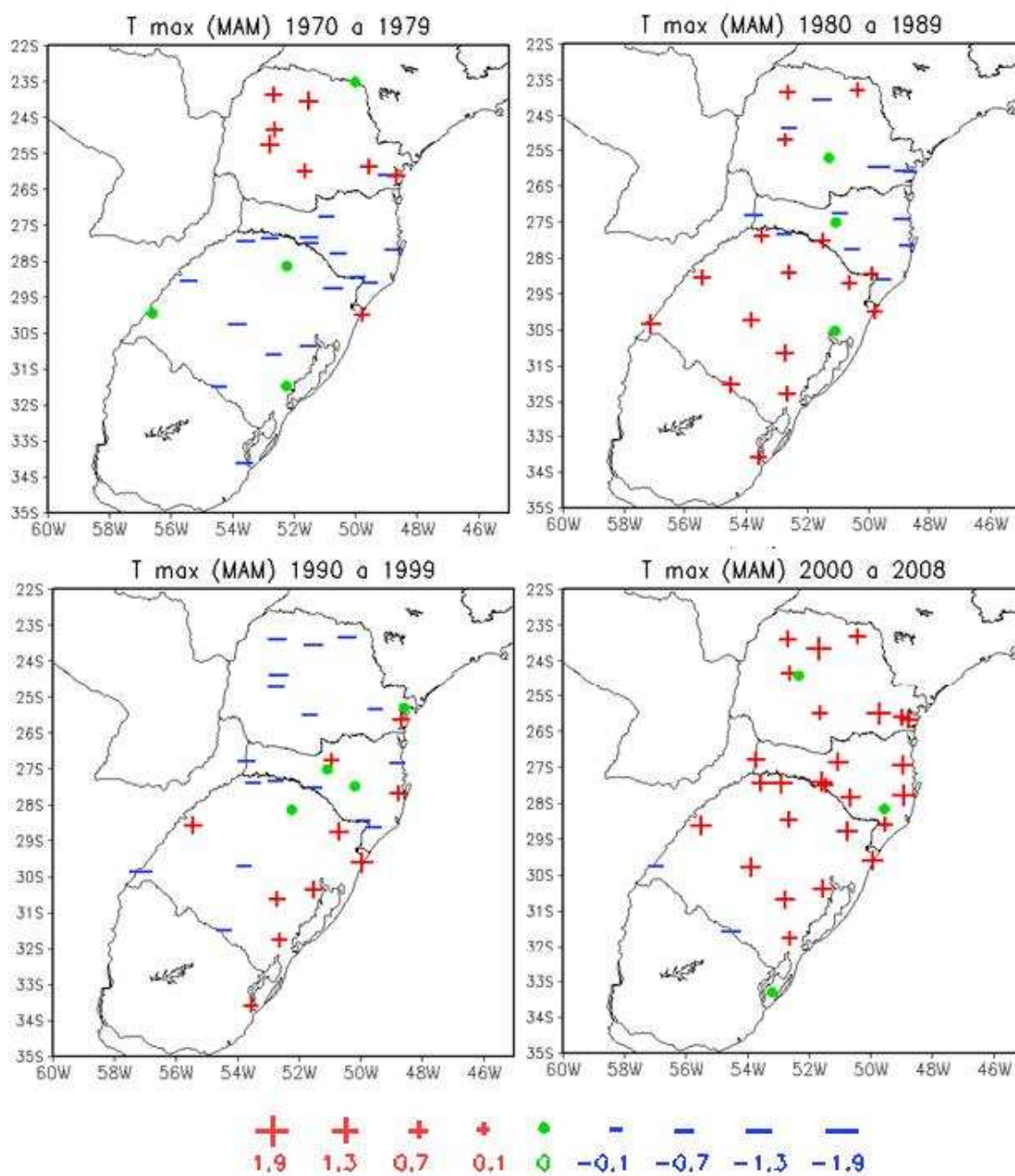


Figura 4.15 – Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (outono).

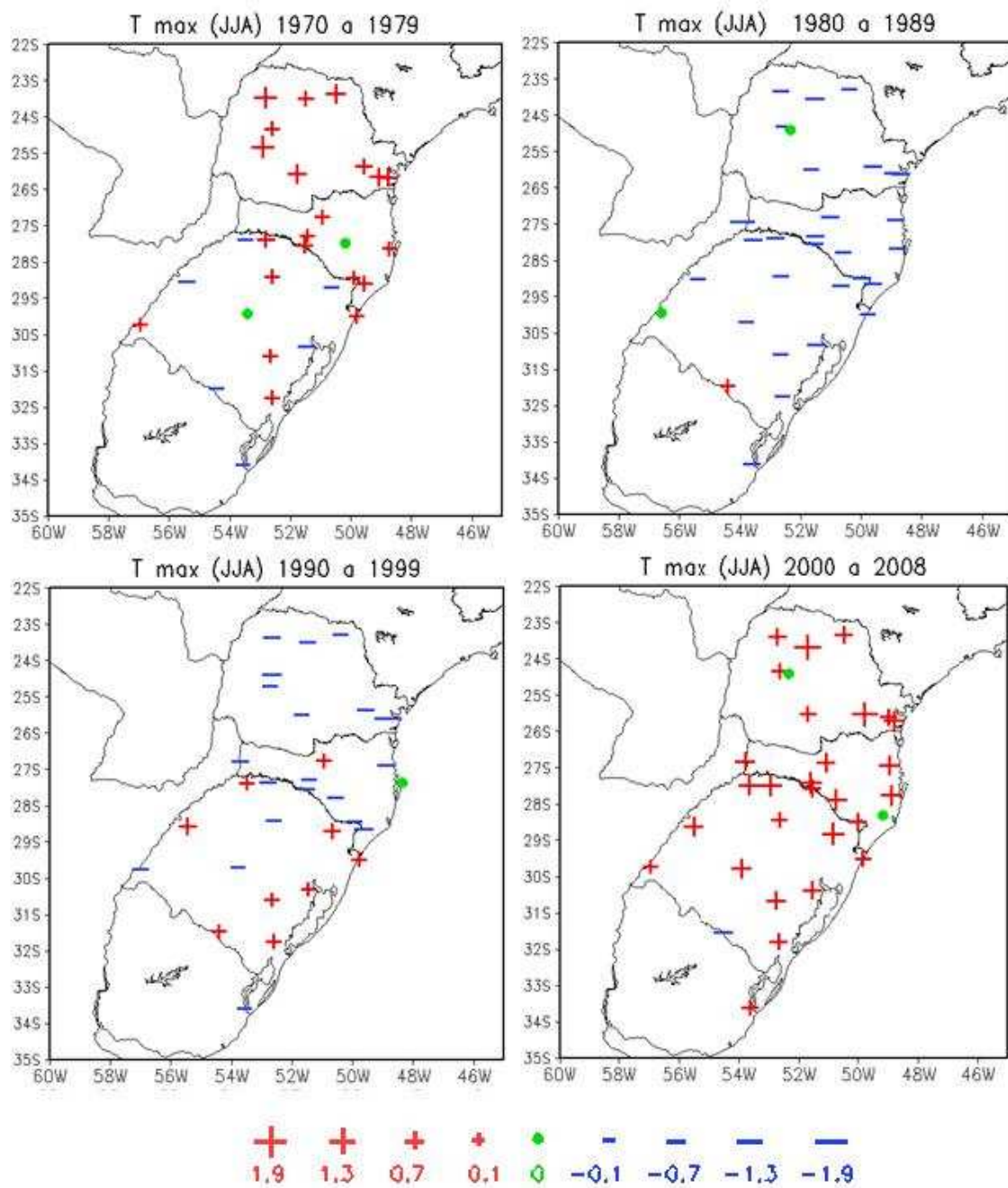


Figura 4.16 – Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (inverno).

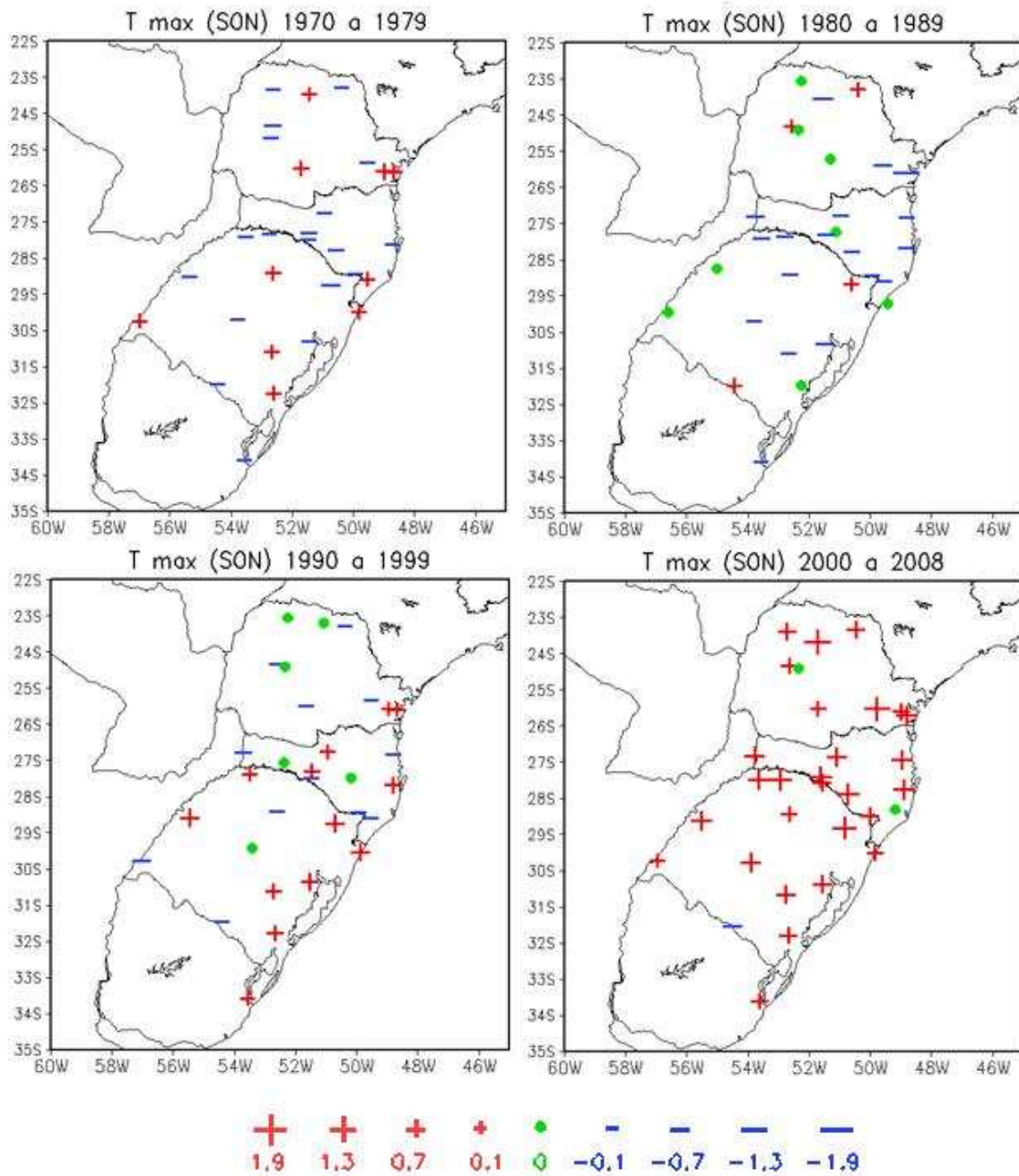


Figura 4.17 – Idem à Figura 4.13, porém em nível sazonal (primavera).

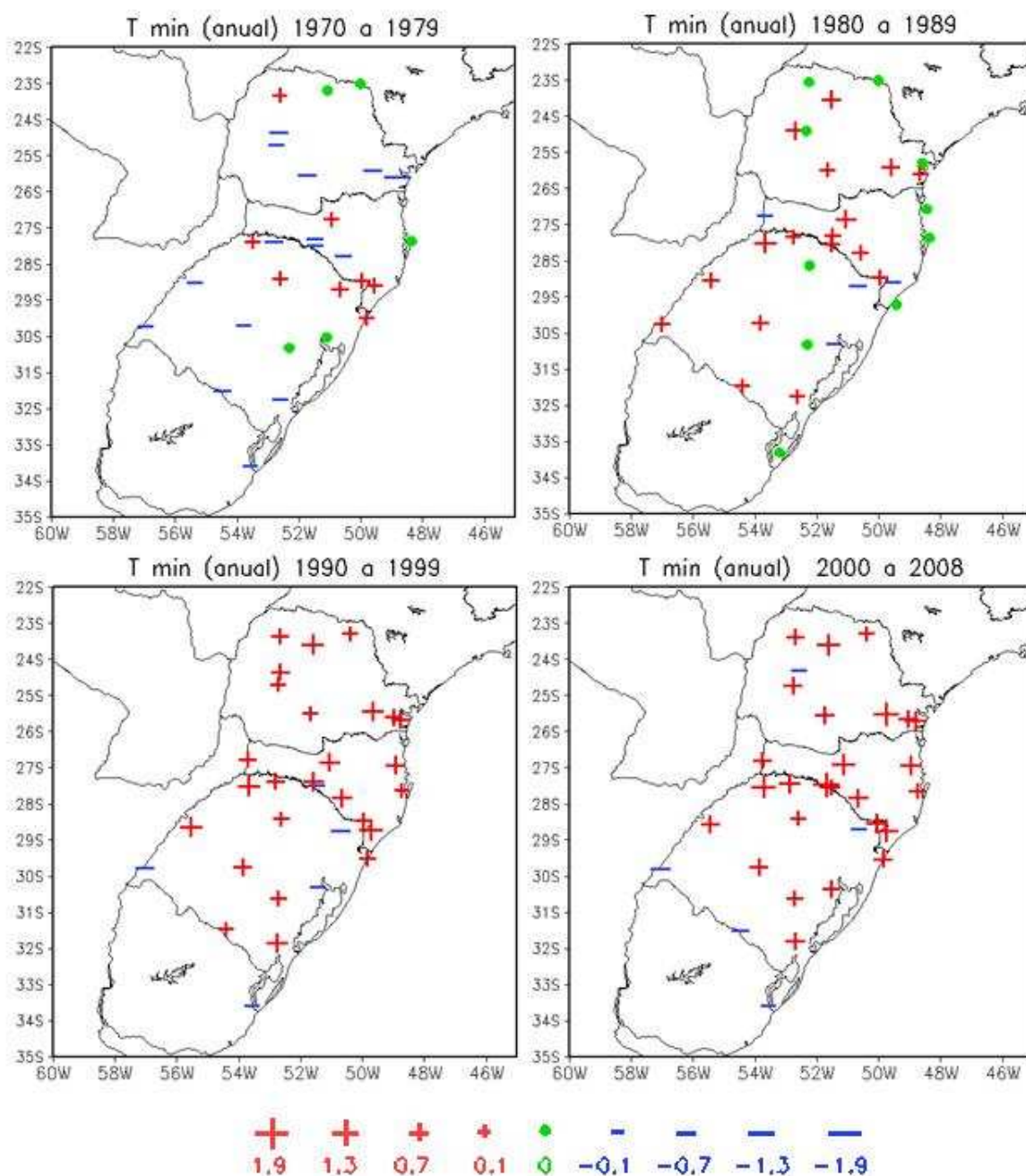


Figura 4.18 – Distribuição em nível anual das tendências das temperaturas mínimas diárias da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em azul equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.

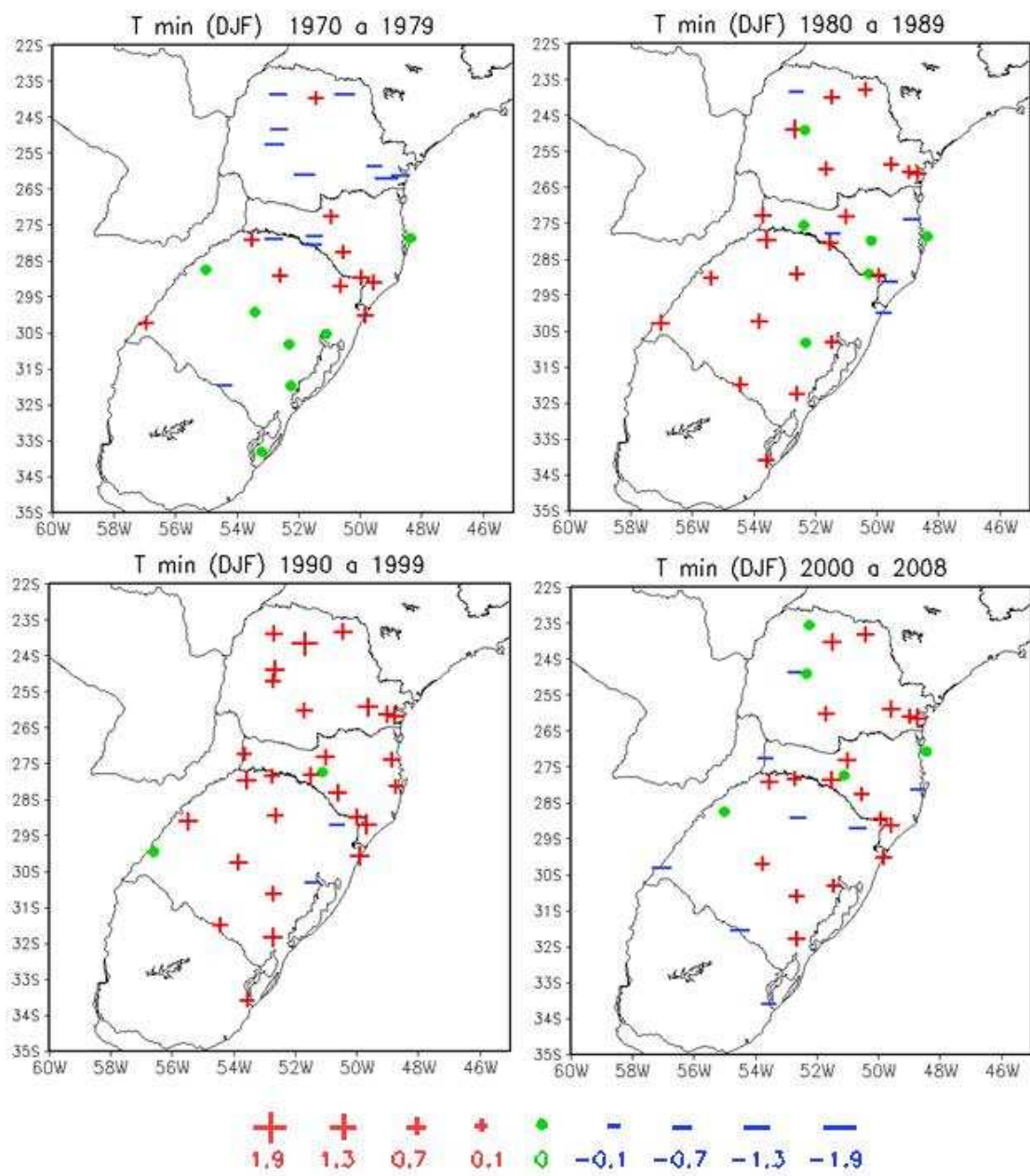


Figura 4.19 – Idem à Figura 4.18, porém em nível sazonal (verão).

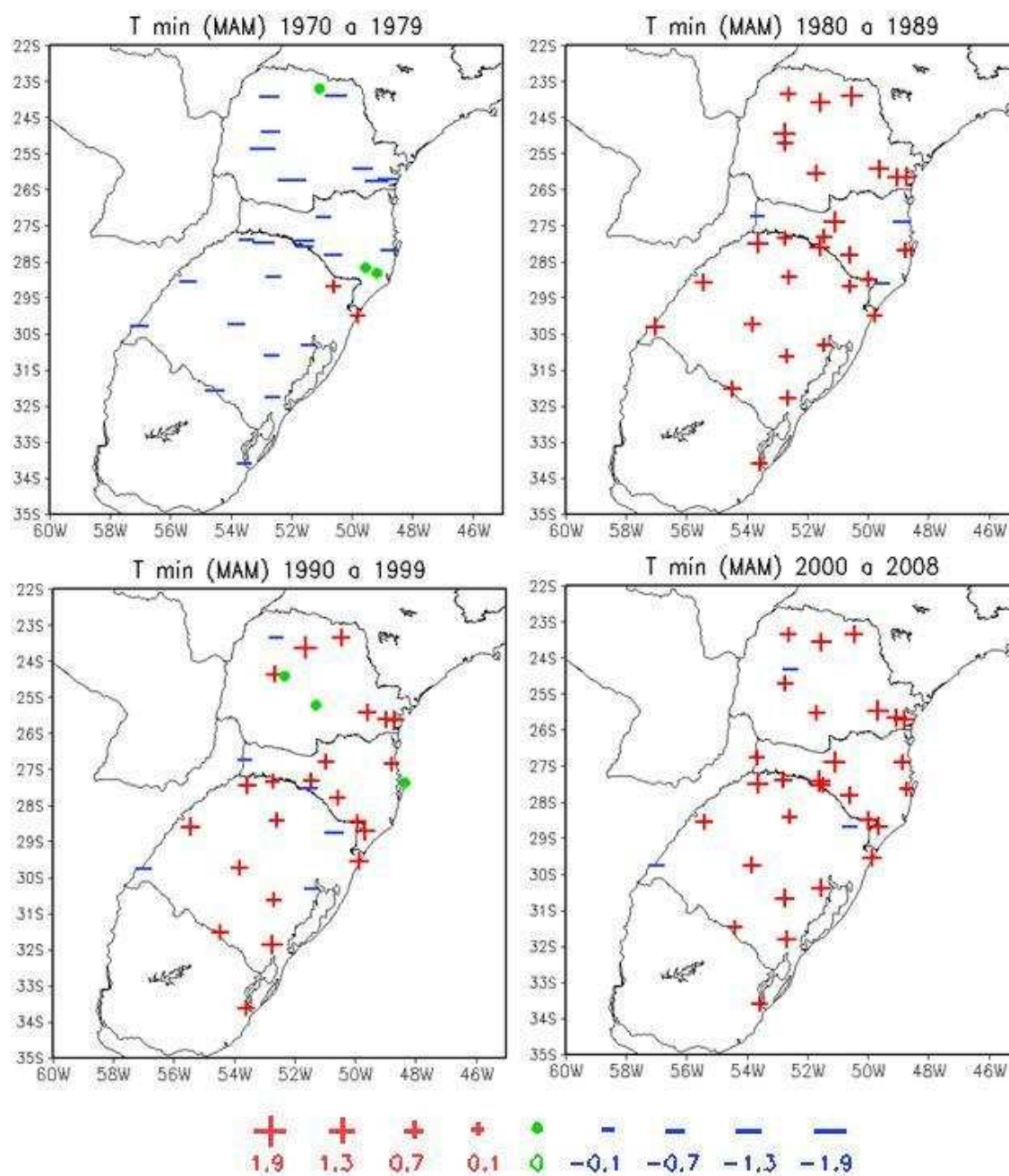


Figura 4.20 – Idem à Figura 4.18, porém em nível sazonal (outono).

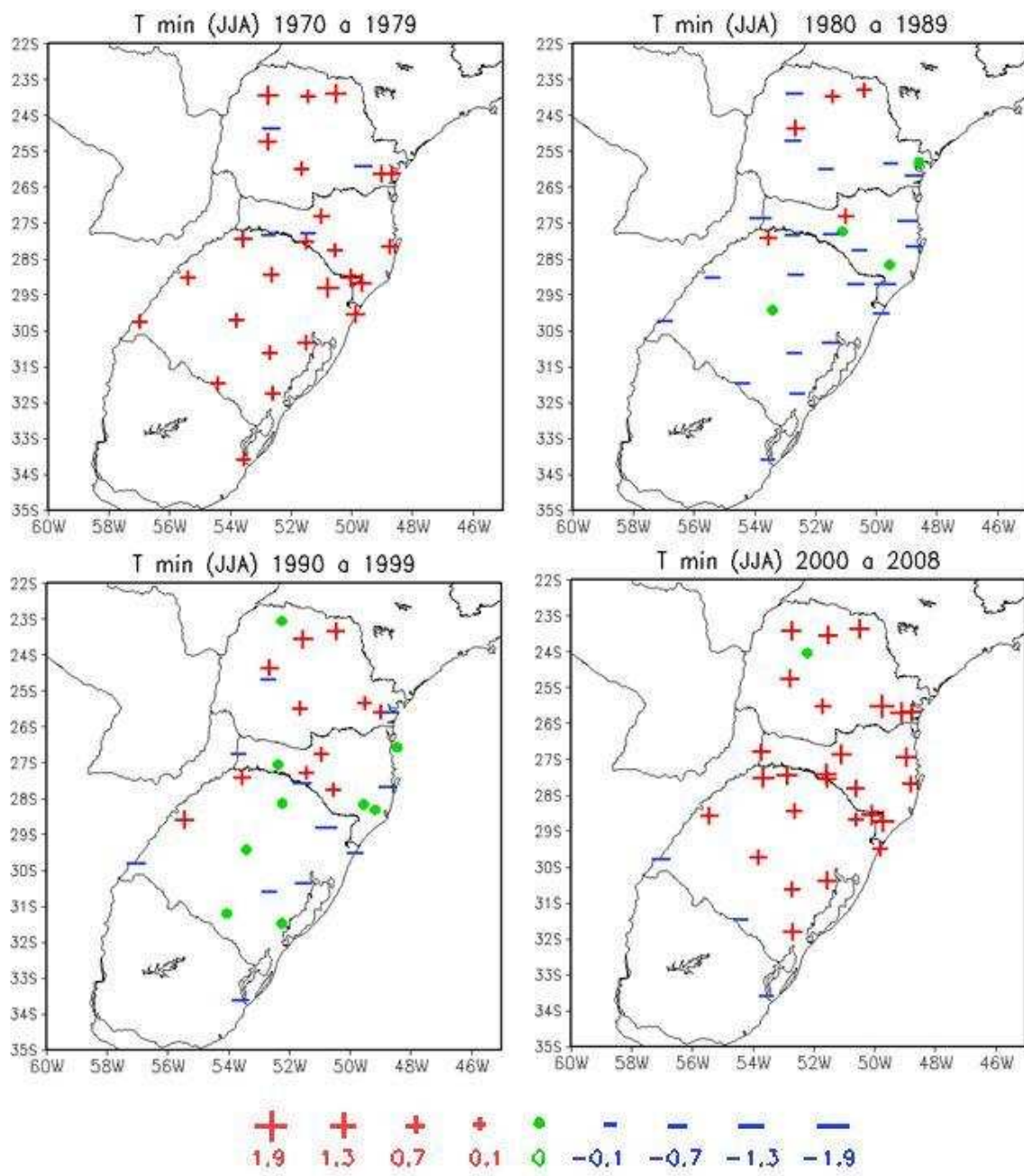


Figura 4.21 – Idem à Figura 4.19, porém em nível sazonal (inverno).

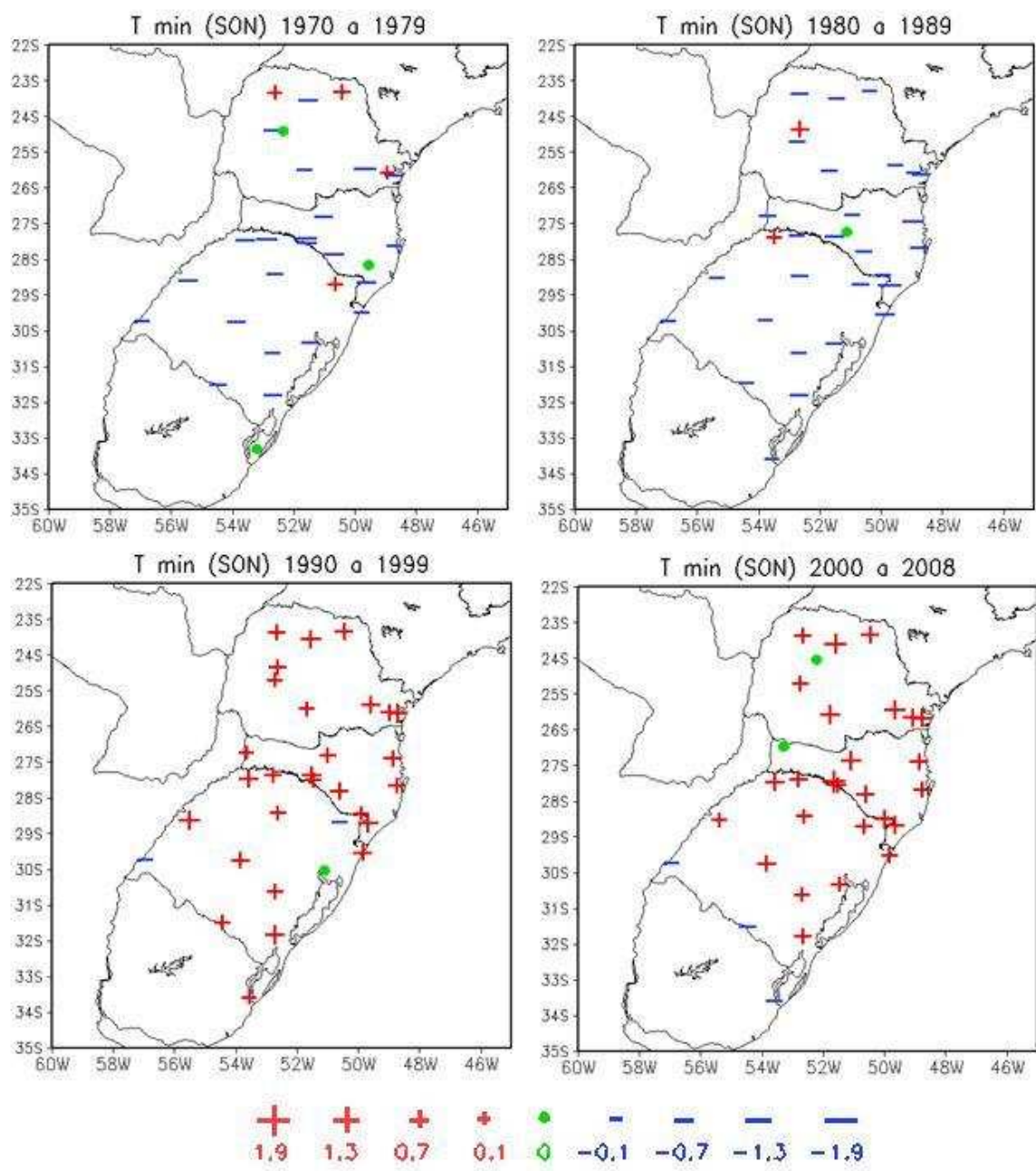


Figura 4.22 – Idem à Figura 4.15, porém em nível sazonal (primavera).

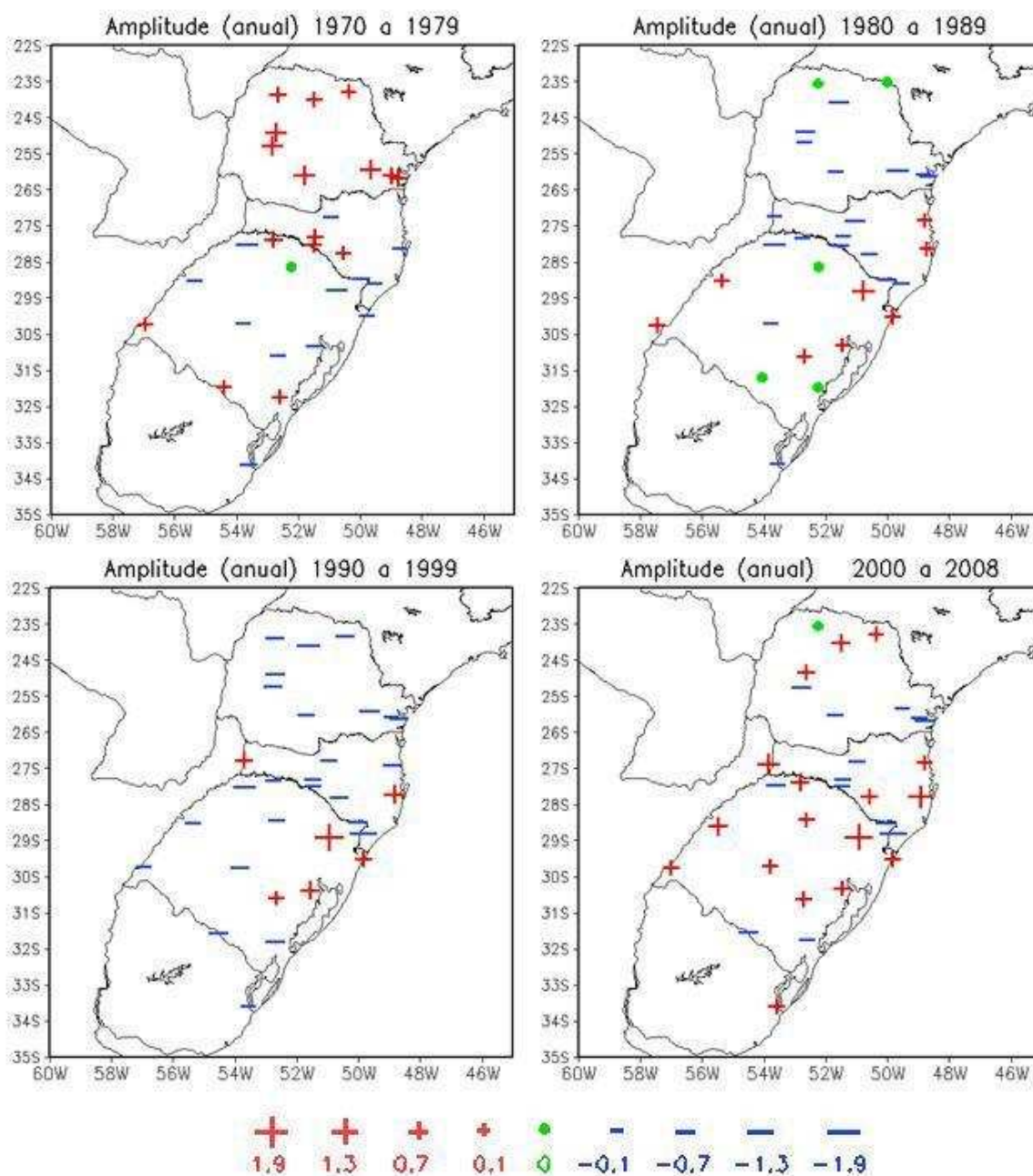


Figura 4.23 – Distribuição em nível anual das tendências da amplitude térmica diária da Região Sul do Brasil, para quatro diferentes períodos: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999 e 2000-2008. Os sinais positivos em vermelho equivalem às anomalias positivas da temperatura mínima e os sinais em vermelho equivalem às anomalias negativas; os tamanhos diferenciam-se conforme a intensidade das anomalias expostas na escala e o período base utilizado foi o de 1961-1990.

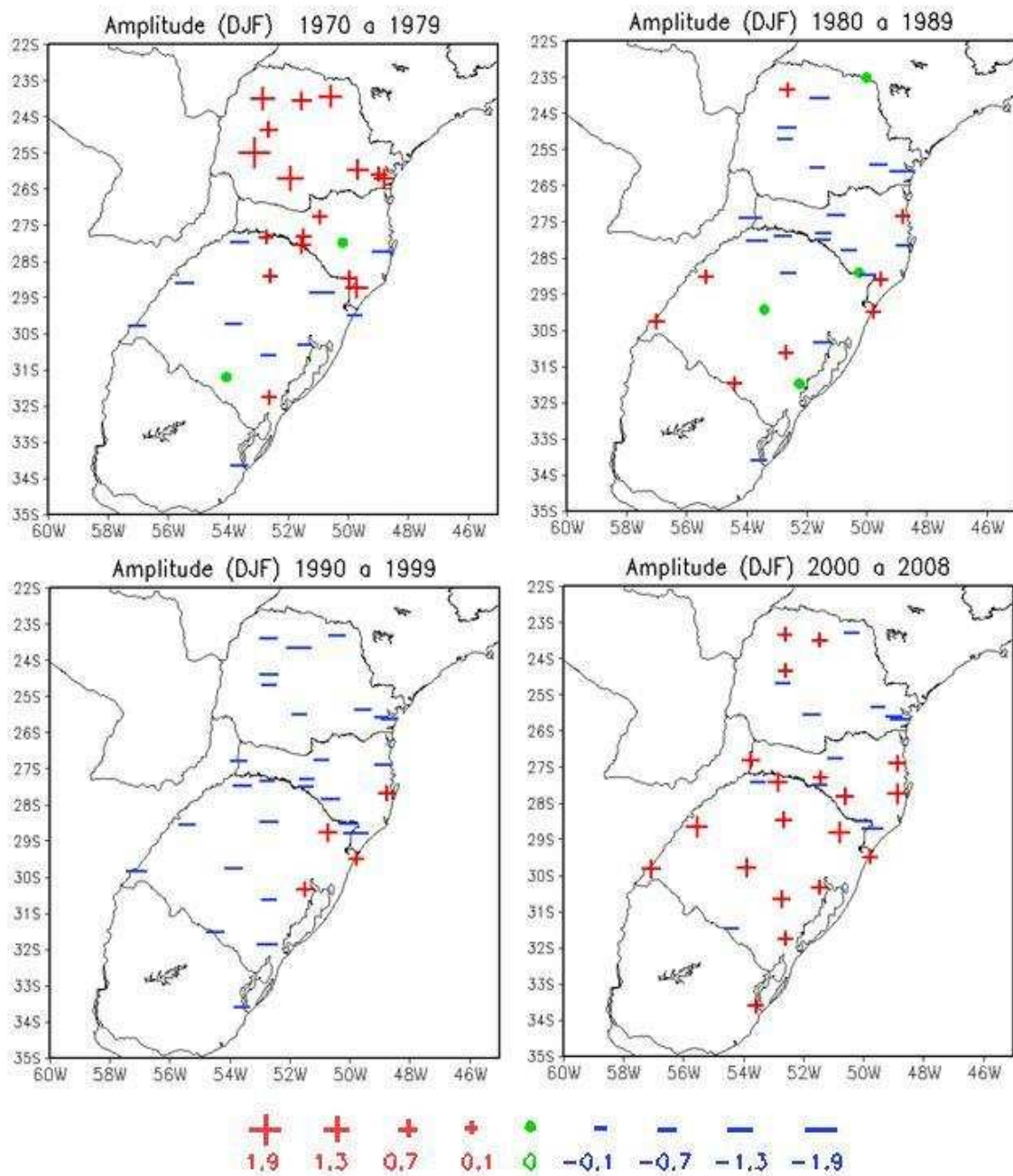


Figura 4.24 – Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (verão).

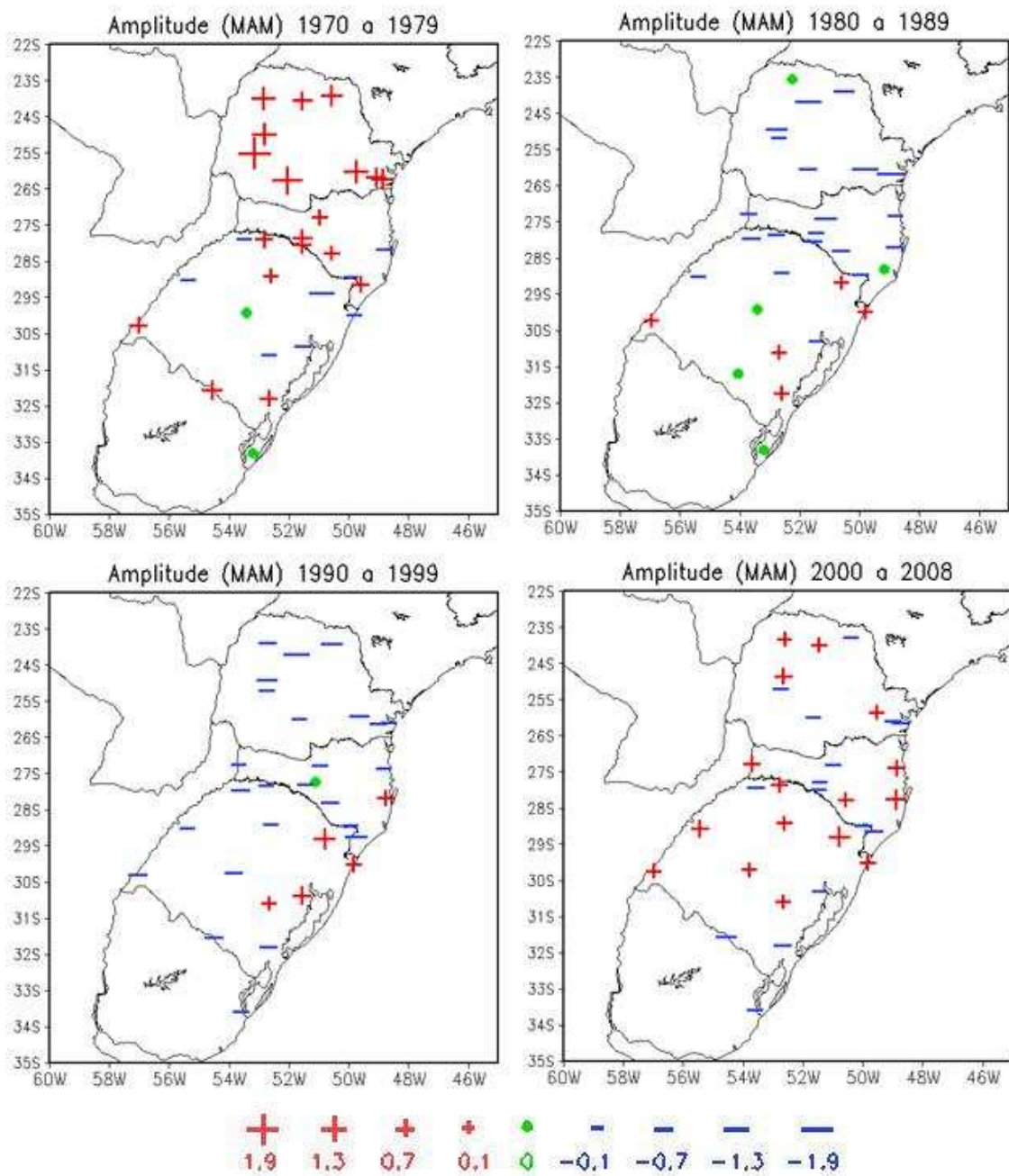


Figura 4.25 – Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (outono).

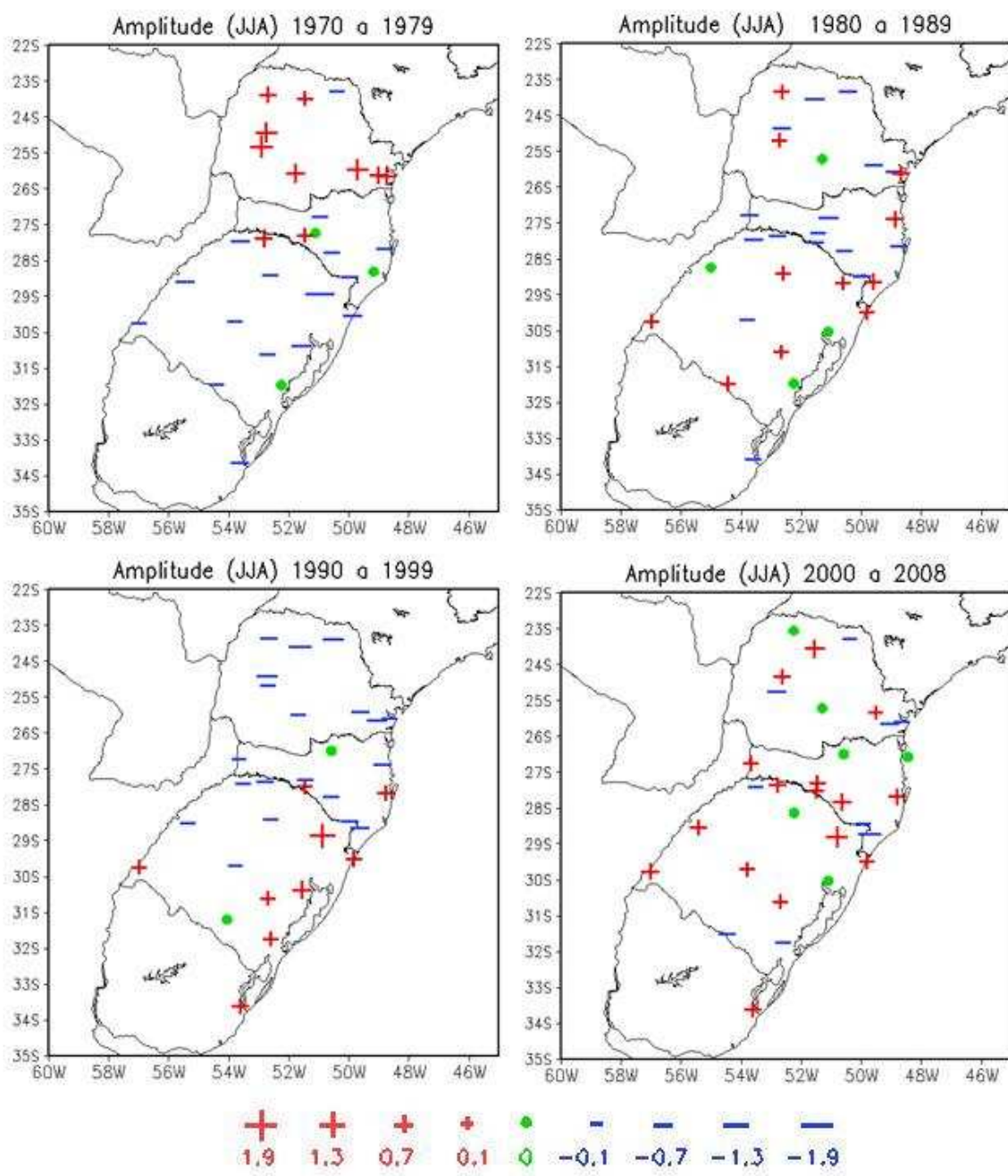


Figura 4.26 – Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (inverno).

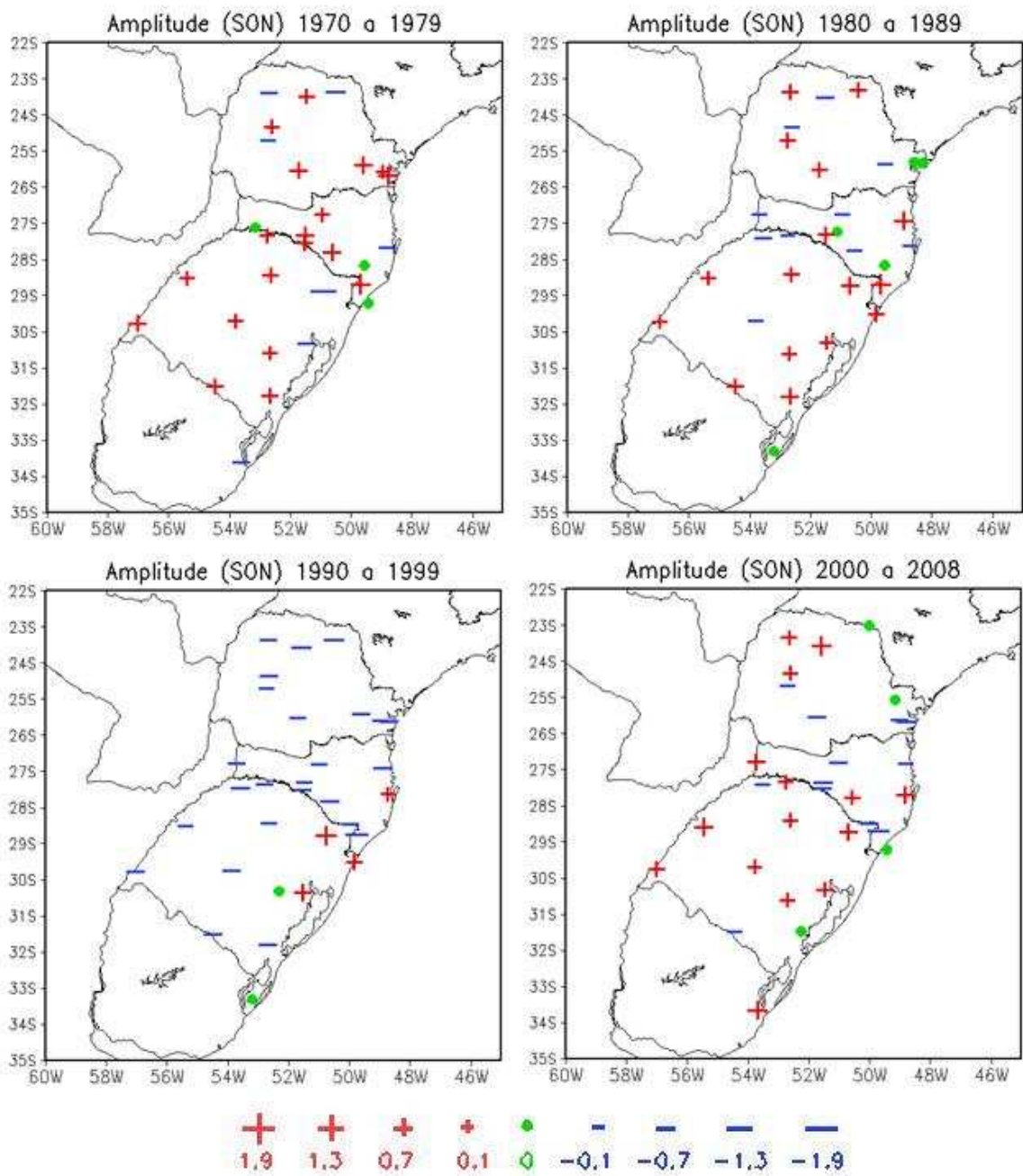


Figura 4.27 – Idem à Figura 4.23, porém em nível sazonal (primavera).

4.1.2 MÉDIAS MENSAIS

Nesta seção foram descritos os padrões climáticos mensais das temperaturas máxima e mínima da Região Sul do Brasil. Na Figura 4.28, referente às médias mensais considerando o período de 1961-2008, pode-se determinar os meses de junho e julho como os mais frios do ano. Nestes meses a incursão de massas de ar frio e seco na Região Sul do Brasil é mais freqüente. Os valores máximos mensais de temperatura do ar foram observados nos meses de janeiro e fevereiro. Observou-se que, em média, as temperaturas mensais foram maiores no Estado do Paraná, apresentando localmente uma amplitude menor em relação ao RS e a SC.

As médias mais baixas das temperaturas mínimas do ar em cada Estado, no referido período, ocorreram em Guarapuava, PR e Curitiba, PR (8,4°C), São Joaquim, SC (5,7°C) e Bom Jesus, RS (6,4°C); enquanto que os valores máximos mensais de temperatura do ar foram observados em Paranaguá, PR (21,7°C), Florianópolis, SC (21,6), Irai e Uruguaiana, RS (32,2°C).

Observa-se, na Figura 4.29, certa uniformidade nas variações das temperaturas máximas e mínimas dentro de cada Estado. No Rio Grande do Sul, as médias mensais das temperaturas máximas apresentaram uma variação maior entre as diferentes localidades do que a distribuição das mínimas. Bom Jesus se destacou pelos baixos valores de ambas as temperaturas. As temperaturas médias mensais em Santa Catarina apresentaram uma amplitude um pouco menor entre a temperatura máxima e a temperatura mínima. Por efeito das diferentes altitudes, as temperaturas máximas médias mensais observadas em São Joaquim equivalem aos valores médios mensais de temperatura mínima de algumas localidades, tais como Florianópolis e Itajaí. Curitiba e Guarapuava apresentaram os menores valores mensais de temperatura do ar no Estado do Paraná (Figura 4.29).

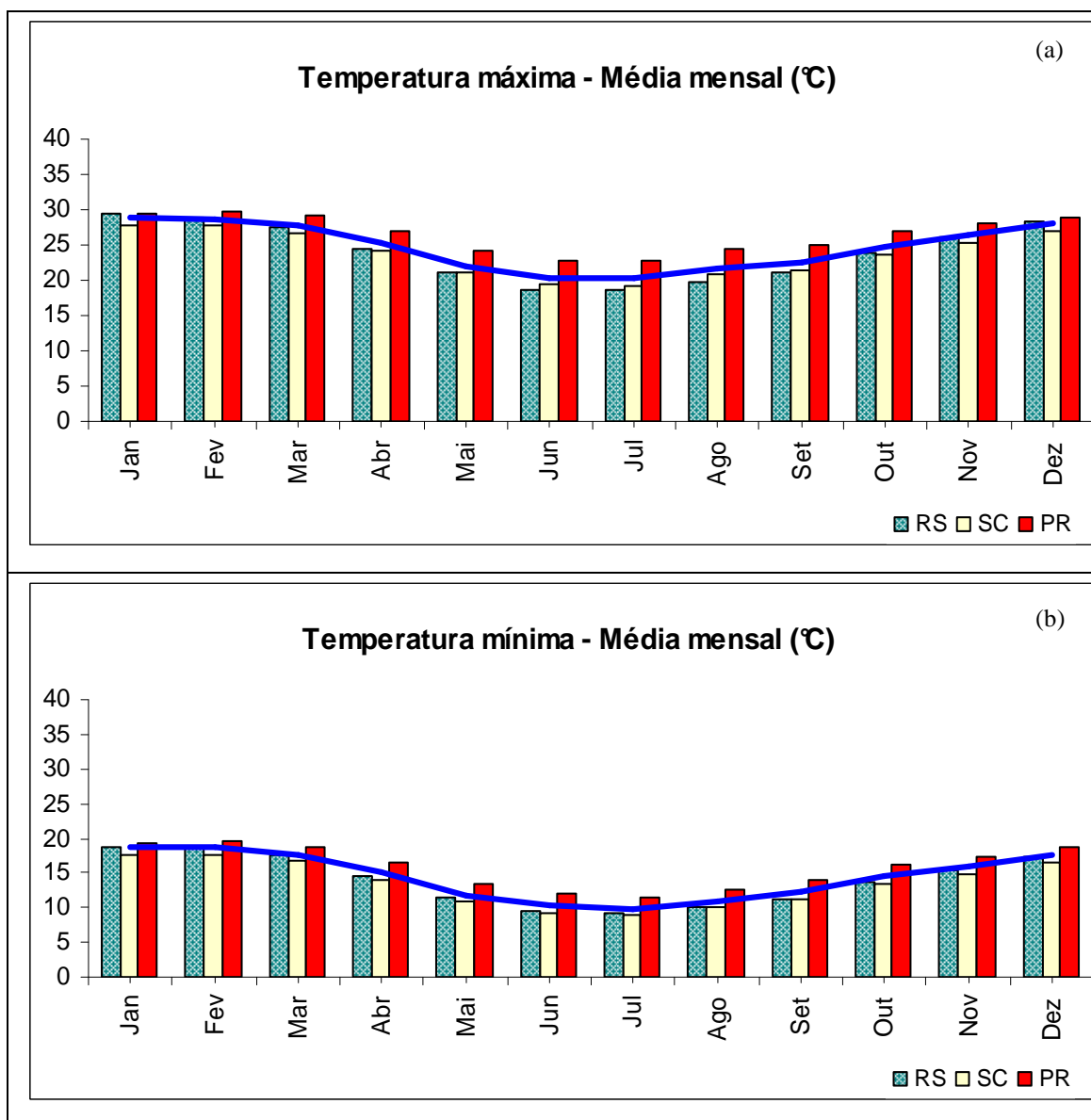


Figura 4.28 – Temperaturas médias mensais, máxima (a) e mínima (b) de cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-2008. A linha contínua representa a média da Região Sul como um todo.

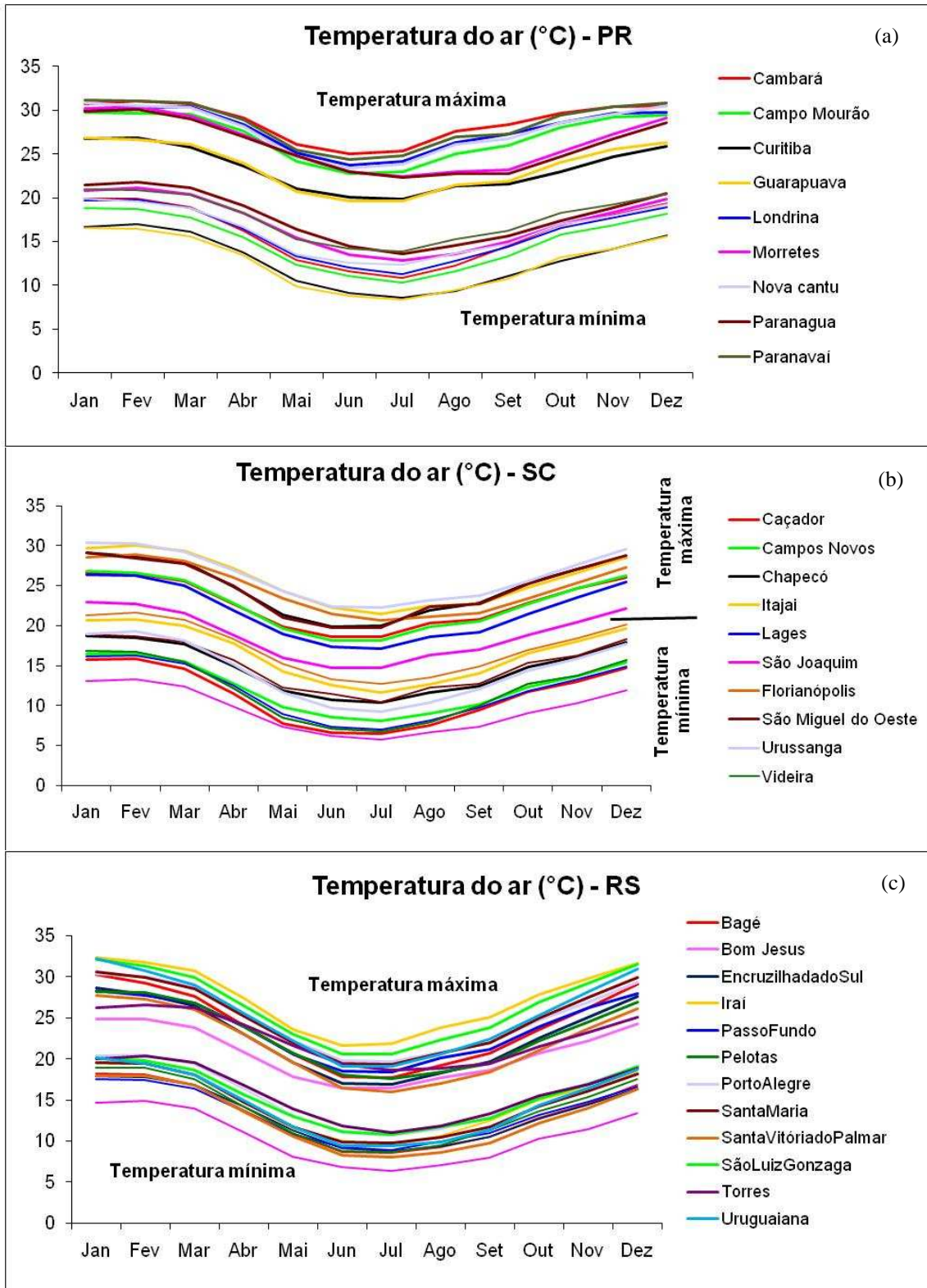


Figura 4.29 – Temperaturas médias mensais, máxima e mínima, das diferentes localidades da Região Sul do Brasil: Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), para o período de 1961-2008.

4.1.3 VALORES ABSOLUTOS MENSAIS E ANUAIS (EXTREMOS CLIMÁTICOS)

Nesta etapa, foram definidos e analisados os eventos extremos de temperatura do ar (frio e calor intenso) adotando como base os índices extremos de curta duração para o clima do presente segundo Frisch et al. (2002). A análise regional destes índices foi realizada em escalas mensais e sazonais. Neste estudo foram adotados como base os seguintes índices: **FD** - *Total de dias com temperatura abaixo de 0°C*; **TNn** - *valor mínimo mensal de temperatura mínima* e **TXx** - *valor máximo mensal de temperatura máxima*.

Primeiramente, analisou-se o número total de dias com temperaturas abaixo de 0°C. Para esta análise considerou-se o período de 1970-2008 como o padrão, devido à maior disponibilidade de dados. Os resultados mostraram que apesar das temperaturas máximas e mínimas estarem aumentando na Região Sul do Brasil, o número de dias com temperaturas inferiores a 0°C tem apresentado grande variabilidade nas últimas décadas (Figura 4.30). Isto mostrou que, embora, em média, os valores da temperatura mínima estejam aumentando, o número de dias com temperaturas inferiores 0°C não está diminuindo. Este resultado pode ser percebido de forma mais clara quando se considerou as localidades de cada Estado que apresentaram frequência maior de dias com temperaturas inferiores a 0°C, como por exemplo: Guarapuava e Curitiba, PR, São Joaquim, Caçador e Lages, SC, Bom Jesus e Bagé, RS (Figura 4.31).

Observa-se que alguns anos destacaram-se por apresentar uma frequência menor no total de dias com temperatura inferior a 0°C, especialmente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, como, por exemplo, 1973, 1977, 1982, 1986, 1998, o que se justifica ao considerar que estes anos foram marcados por episódios de El Niño (evento que favorece altas temperaturas na Região Sul do Brasil).

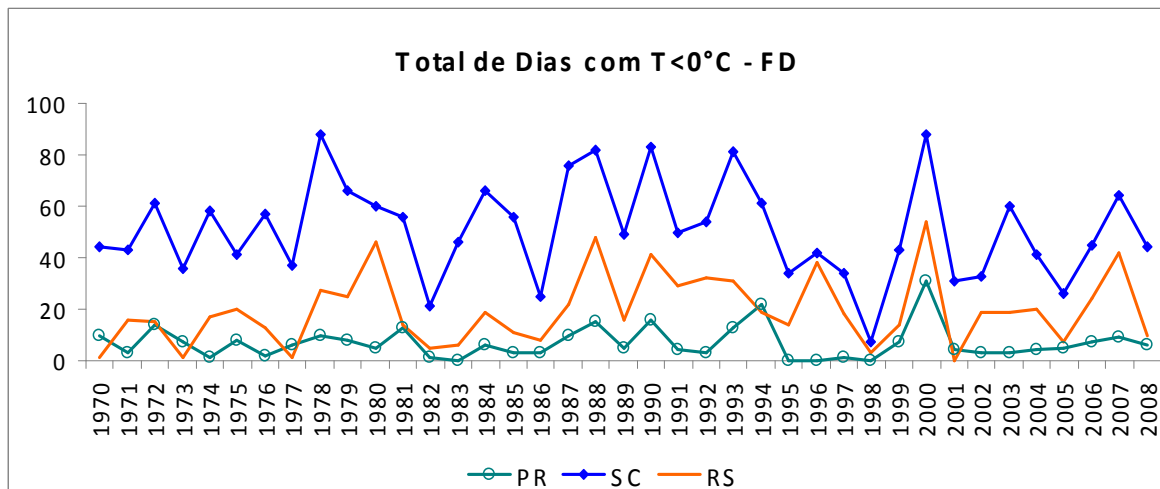


Figura 4.30 – Total anual de dias com temperaturas inferiores a 0°C (Índice *FD* – *Frost Day*), em cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil.

Ao analisar a distribuição mensal do total de dias com temperaturas inferiores a 0°C verificou-se que os meses de junho e julho apresentaram uma frequência maior de registros com temperatura inferior a 0°C (Figura 4.32); embora, nos meses de outono e primavera, na Região Sul do Brasil possam ocorrer registros de temperaturas inferiores a 0°C, especialmente na primavera, quando têm sido frequentes os casos de geadas tardias (CAMARGO et al., 2006). Nesta análise, o Estado de Santa Catarina destacou-se pelo efeito orográfico, ou seja, devido às altitudes elevadas. Na seção 4.3.1, são analisados com maior detalhamento os riscos de geadas para a Região Sul do Brasil, inclusive para temperaturas do ar inferiores a 3°C, a qual já caracteriza a ocorrência de geada em regiões de fundo de vale.

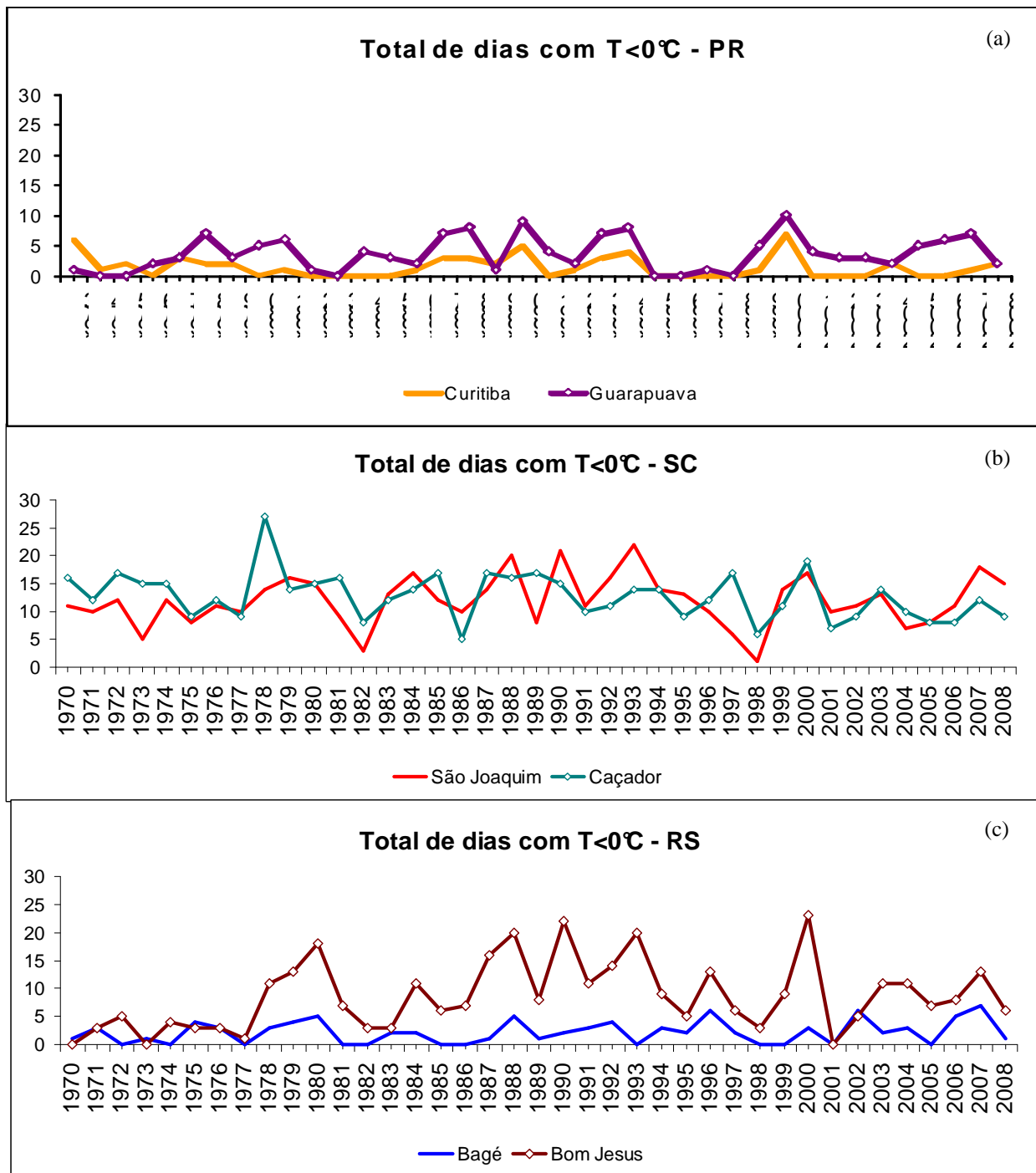


Figura 4.31 – Número total anual de dias com temperaturas inferiores a 0°C , nas seguintes localidades: Curitiba e Guarapuava - Paraná (a), São Joaquim e Caçador – Santa Catarina (b) e Bagé e Bom Jesus – Rio Grande do Sul (c).

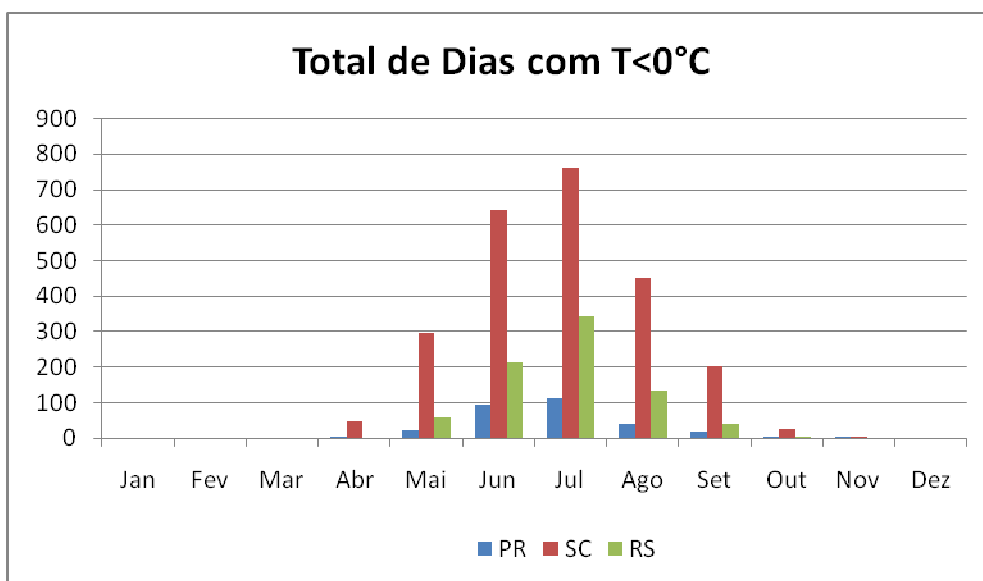


Figura 4.32 – Total mensal de dias com temperaturas inferiores a 0°C em cada um dos três Estados da Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-2008.

Na seqüência, foram analisados os valores de menor e maior temperatura diária do ar, considerando o período total de dados (1961-2008), conforme pode ser observado nas Tabelas 4.3 e 4.4. Em azul e vermelho destacam-se os valores mais extremos, ou seja, o valor mínimo ou máximo, respectivamente.

O mês de julho pode ser considerado o mês mais frio em toda a Região Sul do Brasil, em que se apresentam com maior frequência os menores valores de temperatura mínima do ar (Tabela 4.3). De modo geral, são nos meses do inverno (junho-julho-agosto) que foram registrados os menores valores de temperatura do ar. Conforme se pode observar nos resultados, nas localidades de altitudes mais elevadas, valores negativos de temperatura também foram observados no outono e na primavera. Os menores valores de temperatura mínima registrados na Região Sul do Brasil foram de -10,4°C em Caçador e -10°C em São Joaquim.

Em relação ao valor máximo mensal de temperatura máxima do ar, observou-se que os maiores valores foram registrados com maior frequência no período de novembro a fevereiro, em especial no mês de novembro (Tabela 4.4). Em algumas situações atípicas o maior valor mensal foi registrado em março ou abril. Os maiores valores de temperatura máxima registrados na Região Sul do Brasil, no período de 1961 a 2008, foram de 42,2°C no mês de janeiro de 1973 (Irai, RS) e 1986 (Uruguaiana, RS), conforme mostrado na Tabela 4.5.

Ao analisar a variabilidade ano a ano dos extremos da temperatura do ar, observou-se que ambas as temperaturas, máxima e mínima, mantiveram um padrão de variabilidade com o passar dos anos (Figuras 4.33 e 4.34). No entanto, de forma geral, os resultados indicam que embora a temperatura do ar esteja aumentando com o passar dos anos, frios extremos (temperaturas muito baixas) continuam sendo registrados.

Tabela 4.3 – Valores absolutos mínimos mensais e anual da temperatura mínima do ar (°C), no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Anual
CAM^{PR}	12,1	13,0	1,7	4,0	-1,0	-2,6	-3,7	-3,5	1,3	6,4	7,7	9,4	-3,7
CMP^{PR}	10,2	9,4	5,7	2,0	-0,2	-2,0	-7,1	-4,6	-1,0	4,1	5,3	8,5	-7,1
CRT^{PR}	8,2	6,8	3,9	-4,0	-2,3	-4,0	-5,2	-5,2	-5,4	-1,5	-0,9	3,6	-5,4
GRP^{PR}	8,4	7,8	1,0	-1,8	-3,2	-6,8	-6,0	-4,6	-4,4	0,8	3,6	5,8	-6,8
LON^{PR}	11,2	13,0	8,2	4,8	0,0	-2,8	-1,8	0,3	2,8	7,6	8,8	11,3	-2,8
MOR^{PR}	14,3	14,0	9,9	4,3	1,4	-0,9	0,2	0,3	1,4	6,6	8,9	6,4	-0,9
NCT^{PR}	11,2	10,6	6,2	2,0	0,0	-2,0	-2,8	-2,0	1,0	6,0	8,2	10,8	-2,8
PRG^{PR}	11,9	10,9	12,7	5,0	2,6	0,3	-0,1	4,2	6,4	7,6	8,0	9,4	-0,1
PRV^{PR}	10,6	13,0	8,4	4,8	2,3	0,5	-3,0	0,1	1,8	8,6	10,0	12,4	-3,0
CAÇ^{PR}	4,0	2,5	0,8	-3,0	-5,8	-7,8	-7,0	-10,4	-7,0	-2,0	-1,8	1,6	-10,4
CPN^{SC}	7,0	5,9	5,2	-0,1	-2,9	-3,8	-5,6	-5,5	-2,2	1,4	2,0	5,0	-5,6
CHP^{SC}	9,8	8,8	6,2	1,0	-0,6	-2,8	-4,5	-4,0	-1,0	3,2	6,0	9,0	-4,5
ITJ^{SC}	12,0	13,0	11,0	7,0	1,5	1,0	0,2	-0,5	2,4	4,2	9,5	11,4	-0,5
LAG^{SC}	5,4	4,9	3,0	-0,3	-3,6	-5,2	-6,0	-4,8	-3,5	0,2	2,8	3,2	-6,0
SJQ^{SC}	3,5	3,2	0,3	-4,9	-6,8	-7,2	-9,0	-10,0	-7,5	-2,4	-1,5	1,4	-10,0
SAJ^{SC}	14,6	14,8	10,2	7,7	3,3	1,7	1,4	1,3	4,4	8,2	9,4	12,5	1,3
SMO^{SC}	11,0	10,2	7,4	2,2	0,0	-0,4	-3,0	-3,0	0,6	2,0	5,2	10,4	-3,0
URU^{SC}	10,4	10,1	6,0	4,4	-1,0	-2,6	-2,2	-3,0	-1,4	2,8	5,2	6,5	-3,0
VID^{SC}	4,8	5,2	2,3	-2,8	-5,2	-8,8	-9,3	-7,2	-3,8	-0,8	0,4	2,6	-9,3
BGE^{RS}	7,6	7,4	5,4	2,3	-1,2	-3,9	-3,8	-2,0	0,0	0,6	3,0	4,5	-3,9
BJS^{RS}	5,5	5,0	2,6	0,0	-4,2	-5,8	-7,2	-7,4	-3,8	-1,0	1,0	1,8	-7,4
ECZ^{RS}	9,2	7,3	6,2	3,1	-0,4	-2,0	-2,5	-2,0	0,2	1,2	3,0	5,3	-2,5
IRA^{RS}	7,8	7,0	5,4	1,0	-1,8	-2,8	-3,2	-3,4	-1,6	2,6	6,2	6,4	-3,4
PSF^{RS}	9,4	7,2	5,1	1,6	-1,5	-2,5	-3,8	-3,4	-0,9	1,3	3,5	6,5	-3,8
PEL^{RS}	9,6	8,4	5,0	1,3	0,4	-3,8	-2,7	-1,0	0,2	2,6	5,4	7,8	-3,8
POA^{RS}	10,1	12,6	9,6	6,8	2,9	0,4	-0,2	0,3	2,2	5,8	8,0	10,0	-0,2
STM^{RS}	9,4	9,4	5,9	3,0	-1,0	-2,6	-2,9	-2,0	0,2	3,4	5,8	7,2	-2,9
STV^{RS}	7,4	8,3	6,4	3,6	0,9	-1,8	-0,8	-1,0	-0,1	2,2	4,1	5,8	-1,8
SLG^{RS}	9,6	8,9	5,5	3,2	-0,2	-1,4	-1,8	-1,8	0,6	2,0	5,2	8,2	-1,8
TOR^{RS}	11,2	13,5	10,4	7,2	4,2	1,8	1,2	1,0	3,0	7,0	8,8	10,6	1,0
URG^{RS}	10,8	9,0	7,7	3,8	-0,6	-2,8	-3,2	-1,8	0,5	3,3	4,8	8,5	-3,2

Tabela 4.4 – Valores absolutos máximos mensais e anual da temperatura máxima do ar (°C), no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Anual
CAM^{PR}	37,9	37,4	37,9	36,0	34,0	31,8	33,6	35,8	39,0	39,0	41,1	38,5	41,1
CMP^{PR}	35,9	36,5	37,0	34,2	31,5	30,1	30,4	34,5	38,1	37,7	39,2	38,1	39,2
CRT^{PR}	34,3	34,8	33,9	31,8	29,4	28,2	28,2	31,6	33,7	33,1	34,0	33,6	34,8
GRP^{PR}	32,0	33,6	33,0	36,0	28,8	25,6	27,4	31,0	32,8	32,6	36,0	33,4	36,0
LON^{PR}	37,4	37,5	38,0	36,2	32,2	31,2	31,6	34,4	37,6	38,6	39,0	39,3	39,3
MOR^{PR}	40,1	41,0	38,6	36,6	34,6	33,0	34,8	37,5	39,8	40,2	39,6	39,3	41,0
NCT^{PR}	38,6	39,0	38,4	35,4	33,2	31,2	32,0	35,8	39,0	38,0	39,6	39,0	39,6
PRG^{PR}	38,8	40,0	38,2	37,6	33,9	33,8	34,8	37,7	37,5	38,2	38,4	39,6	40,0
PRV^{PR}	37,4	37,6	38,9	35,6	32,3	31,6	33,1	36,0	38,4	38,4	41,5	40,0	41,5
CAÇ^{PR}	35,0	33,4	33,6	30,2	28,8	28,0	27,6	31,4	32,2	32,2	36,2	34,2	36,2
CPN^{SC}	33,4	34,0	33,7	30,1	29,0	26,5	27,4	31,3	33,2	32,2	35,6	34,8	35,6
CHP^{SC}	35,5	35,6	37,8	32,3	30,8	28,0	28,9	33,0	33,9	34,6	37,2	37,0	37,8
ITJ^{SC}	37,2	37,0	36,8	35,8	34,6	32,0	31,2	36,0	37,0	35,8	35,8	38,4	38,4
LAG^{SC}	34,5	33,6	33,2	30,6	27,9	25,6	27,1	31,0	32,4	32,6	35,1	33,9	35,1
SJQ^{SC}	30,6	30,1	29,4	26,9	25,2	22,8	27,6	27,7	28,4	28,4	31,4	31,4	31,4
SAJ^{SC}	38,2	38,8	36,9	35,4	33,5	32,0	32,7	35,0	32,7	32,5	37,5	38,2	38,8
SMO^{SC}	35,6	35,8	37,0	32,6	29,8	29,0	29,2	33,2	34,4	34,0	35,0	35,8	37,0
URU^{SC}	41,0	40,7	39,6	37,0	34,8	33,6	34,4	38,2	39,3	40,5	41,0	41,7	41,7
VID^{SC}	36,2	35,2	35,8	32,4	30,5	29,0	30,0	33,4	35,1	35,0	38,0	35,5	38,0
BGE^{RS}	39,2	40,1	38,4	33,9	32,1	30,3	29,6	33,0	33,9	34,2	39,5	39,9	40,1
BJS^{RS}	33,0	31,2	32,5	29,8	26,3	25,6	26,7	29,6	31,1	31,0	34,0	32,0	34,0
ECZ^{RS}	37,2	36,4	35,6	33,8	29,8	27,0	27,5	31,0	33,4	34,8	39,5	37,9	39,5
IRA^{RS}	42,2	39,4	39,2	35,3	34,6	31,5	36,6	35,8	37,0	38,6	39,0	40,0	42,2
PSF^{RS}	35,6	35,7	35,9	33,1	30,6	27,2	28,4	31,6	33,0	34,5	38,3	37,1	38,3
PEL^{RS}	39,8	36,8	38,4	35,4	31,6	30,8	31,8	33,0	35,6	35,2	39,2	39,7	39,8
POA^{RS}	39,2	37,9	38,1	35,6	32,7	31,6	32,9	34,9	38,0	38,2	39,8	39,5	39,8
STM^{RS}	39,4	38,5	39,0	37,8	34,1	31,0	32,0	34,0	36,6	37,2	40,2	40,2	40,2
STV^{RS}	39,2	38,2	36,6	33,2	30,0	28,4	29,3	32,2	32,1	33,7	35,6	39,9	39,9
SLG^{RS}	39,4	39,4	38,6	35,4	32,6	29,8	31,5	34,1	36,7	37,3	41,0	40,1	41,0
TOR^{RS}	39,2	34,1	37,8	32,6	33,8	32,2	33,5	35,8	36,0	30,6	35,0	36,6	39,2
URG^{RS}	42,2	39,6	39,1	35,2	33,4	30,0	32,5	33,8	35,9	36,7	41,7	40,2	42,2

Tabela 4.5 – Valores absolutos mínimos e máximos mensais de temperatura do ar (°C) e os respectivos mês/ano de registro, no período de 1961-2008, nas diferentes localidades da Região Sul do Brasil. Em destaque os eventos mais freqüentes nas diferentes localidades.

	< Tmin	Mês/Ano	> Tmax	Mês/Ano
CAM^{PR}	-3,7	07/1975	41,1	11/1985
CMP^{PR}	-7,1	07/1975	39,2	11/1985
CRT^{PR}	-5,4	09/1972	34,8	02/1975
GRP^{PR}	-6,8	06/1978	36,0	04/1976
LON^{PR}	-2,8	06/1967	39,3	12/1975
MOR^{PR}	-0,9	06/1967	41,0	02/1975
NCT^{PR}	-2,8	<u>07/2000</u>	39,6	11/1985
PRG^{PR}	-0,1	07/1971	40,0	02/1973
PRV^{PR}	-3,0	07/1975	41,5	11/1985
CAÇ^{PR}	-10,4	08/1963	36,2	11/1985
CPN^{SC}	-5,6	<u>07/2000</u>	35,6	11/1985
CHP^{SC}	-4,5	<u>07/2000</u>	37,8	03/2005
ITJ^{SC}	-0,5	08/1991	38,4	12/1994
LAG^{SC}	-6,0	<u>07/2000</u>	35,1	11/1985
SJQ^{SC}	-10,0	08/1991	31,4	11/1985
SAJ^{SC}	1,3	08/1984	38,8	02/1973
SMO^{SC}	-3,0	<u>07/2000</u>	37,0	03/2005
URU^{SC}	-3,0	08/1963	41,7	12/1971
VID^{SC}	-9,3	07/1975	38,0	11/1985
BGE^{RS}	-3,9	06/1996	40,1	02/1979
BJS^{RS}	-7,4	08/1983	34,0	11/1985
ECZ^{RS}	-2,5	07/1965	39,5	11/1985
IRA^{RS}	-3,4	06/1964	42,2	01/1963
PSF^{RS}	-3,8	07/1981	38,3	11/1985
PEL^{RS}	-3,8	06/1964	39,8	01/2006
POA^{RS}	-0,2	07/1993	39,8	11/1985
STM^{RS}	-2,9	<u>07/2000</u>	40,2	11/1985
STV^{RS}	-1,8	06/1967	39,9	12/1995
SLG^{RS}	-1,8	07/1975	41,0	11/1985
TOR^{RS}	1,0	01/1991	39,2	01/1971
URG^{RS}	-3,2	<u>07/2000</u>	42,2	01/1986

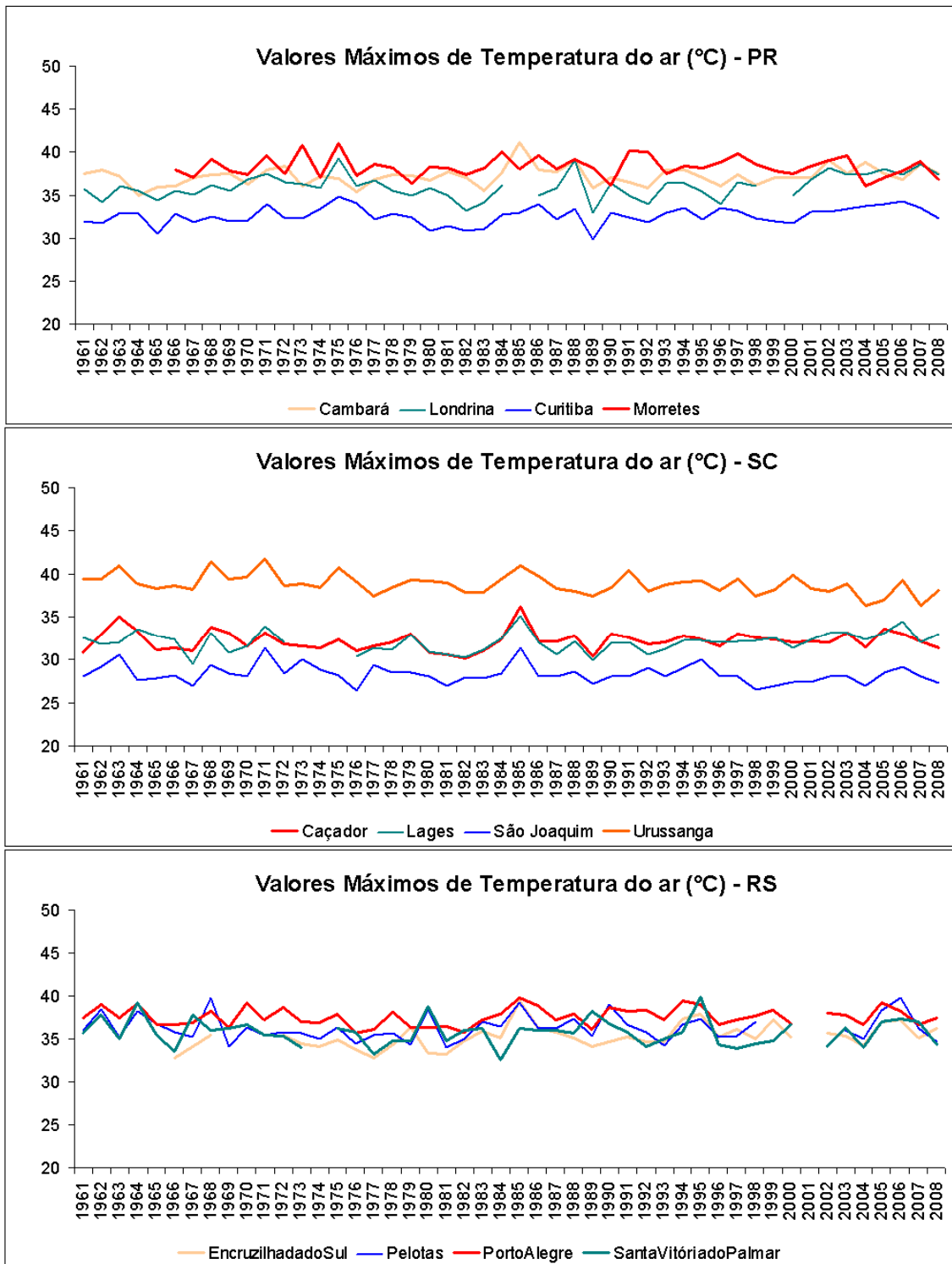


Figura 4.33 – Valores máximos de temperatura do ar (°C) em diferentes localidades do Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), considerando o período de 1961-2008.

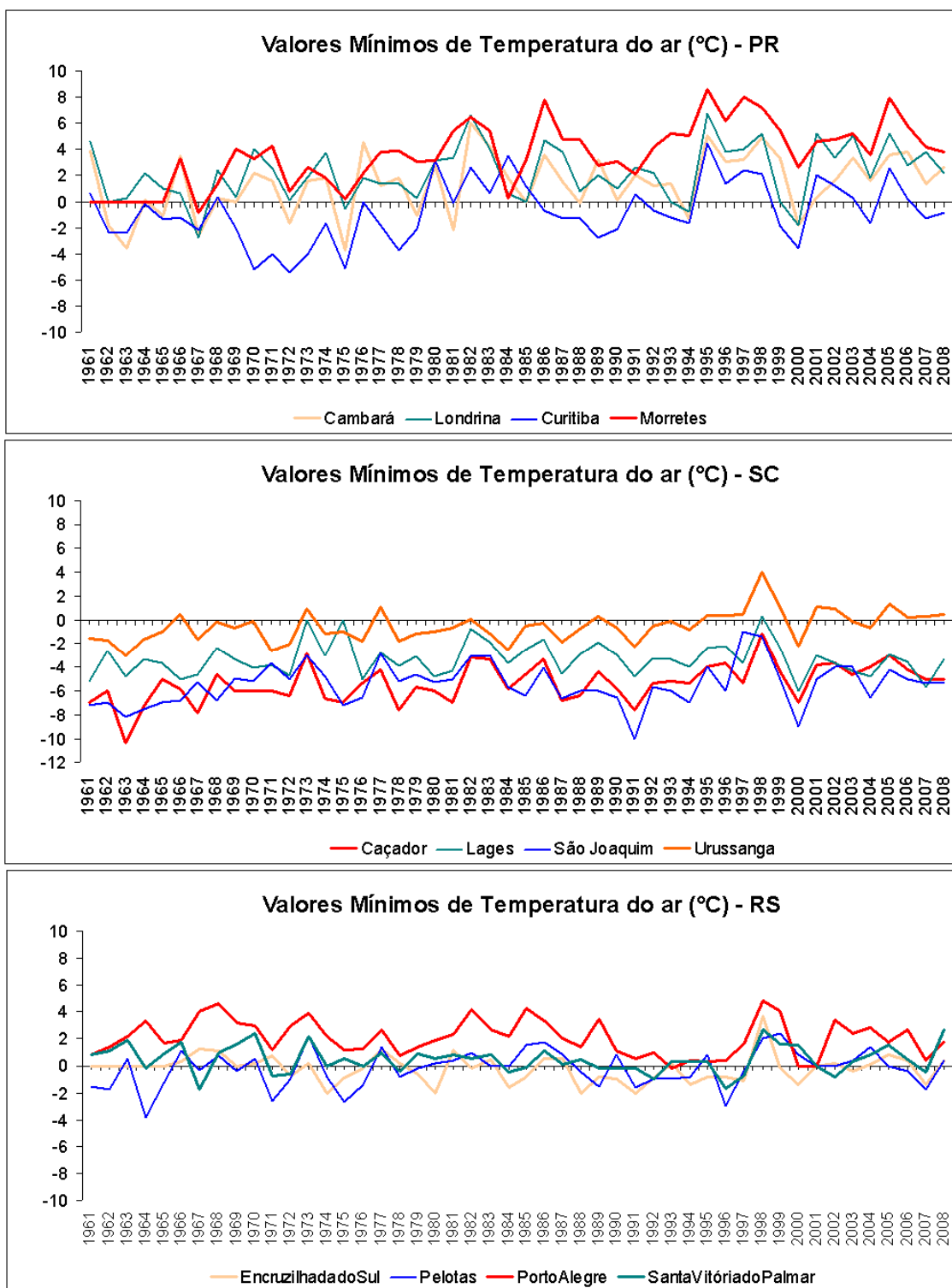


Figura 4.34 – Valores mínimos de temperatura do ar (°C) em diferentes localidades do Paraná (a), Santa Catarina (b) e Rio Grande do Sul (c), considerando o período de 1961-2008.

4.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS DE TEMPERATURA DO AR PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL

Nesta seção foram avaliadas as projeções de clima futuro geradas pelo modelo climático regional HadRM3P (2071-2100), para a Região Sul do Brasil, conforme metodologia descrita no capítulo anterior. Para tal análise foram utilizadas saídas diárias do referido modelo, tendo como objetivo gerar projeções futuras em escalas anual, sazonal e mensal de temperatura do ar.

4.2.1 DADOS OBSERVADOS VERSUS DADOS SIMULADOS PELO MODELO HADRM3P PARA O CLIMA PRESENTE (1961-1990)

Segundo Marengo et al. (2009b), o modelo regional HadRM3P, apresenta uma boa representação do clima presente. De acordo com os autores, em uma análise média da temperatura do ar, o ciclo anual para o presente, simulado pelo modelo (1961-1990), foi similar ao observado. No entanto, o objetivo desta etapa consistiu em averiguar este comportamento em um nível mais detalhado, levando em consideração diferentes localidades da Região Sul e para cada uma das temperaturas máxima e mínima.

A seguir são descritas algumas análises comparativas entre os dados observacionais e os dados simulados pelo modelo regional HadRM3P, para o clima presente 1961-1990. Para esta análise foram considerados dados diários de estações meteorológicas localizadas na Região Sul do Brasil com disponibilidade de dados de 1961-1990, conforme descrito na Tabela 3.5.

Primeiramente, o ciclo anual das temperaturas máxima e mínima para a Região Sul do Brasil simulado pelo modelo regional HadRM3P foi investigado em relação ao ciclo anual de oito diferentes modelos globais do IPCC/AR4 (Tabela 3.6). Para esta análise foram utilizados os valores médios mensais do clima presente (1961-1990) simulado por cada modelo (média das temperaturas máxima e mínima para a região), assim como

os valores médios mensais das temperaturas máxima e mínima do conjunto de estações meteorológicas da respectiva região (Figuras 4.35 e 4.36). De modo geral, os resultados mostraram que o ciclo anual do modelo regional HadRM3P é consistente com a maioria dos ciclos anuais representados pelos modelos globais, estando sempre próximo da média de todos os modelos globais considerados neste estudo.

Na análise da temperatura mínima do ar (Figura 4.35a) observou-se uma tendência dos modelos globais de superestimar o ciclo anual, com uma diferença maior entre os modelos globais e o HadRM3P nos meses de inverno. Nas estações mais quentes do ano, o ciclo anual do modelo regional apresentou uma proximidade grande com os modelos globais. No caso do ciclo anual da temperatura máxima do ar (Figura 4.36), o HadRM3P tendeu a subestimar as médias mensais tanto em relação aos modelos globais como em relação aos dados observados. Porém, ressalta-se a eficiência do modelo regional HadRM3P em representar o ciclo anual em perfeita sintonia aos modelos globais, representando positivamente os picos máximos e mínimos de temperatura do ar. Salientam-se também que as diferenças qualitativas entre os valores observados e os valores médios mensais simulados, em especial da temperatura mínima, se devem a pouca quantidade de estações meteorológicas com dados disponíveis para o período de 1961-1990 e a resolução dos modelos em relação às diferenças orográficas da região Sul do Brasil.

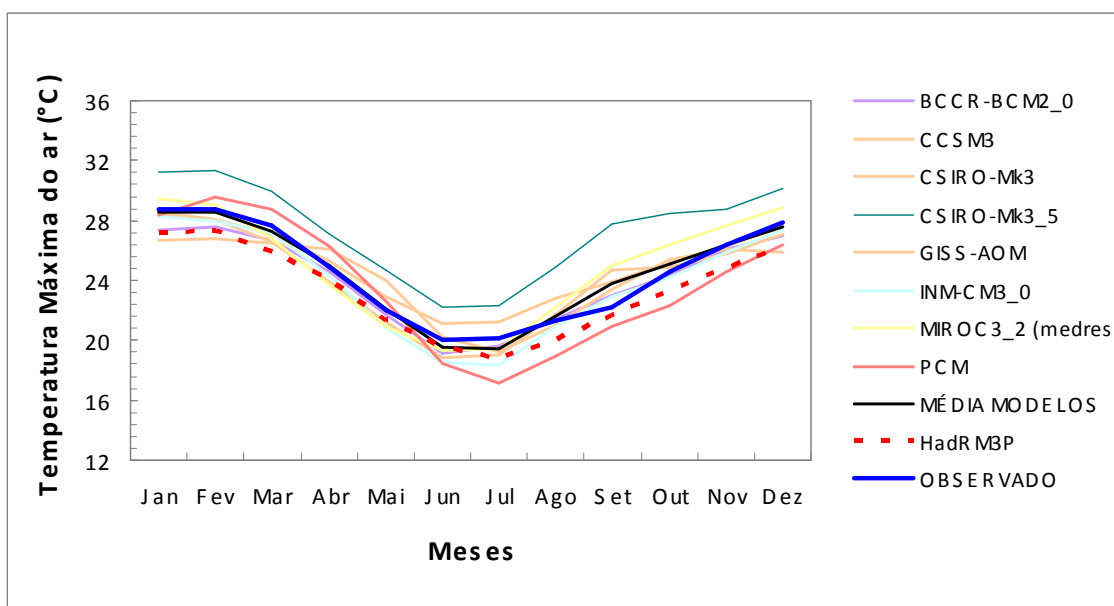


Figura 4.35 – Ciclo anual da temperatura máxima do ar (°C) observada em estações meteorológicas (linha azul – contínua), simuladas pelo modelo regional HadRM3P (linha laranja – pontilhada), simulada por oito modelos globais e a média destes modelos globais, para o período de 1961-1990 na Região Sul do Brasil.

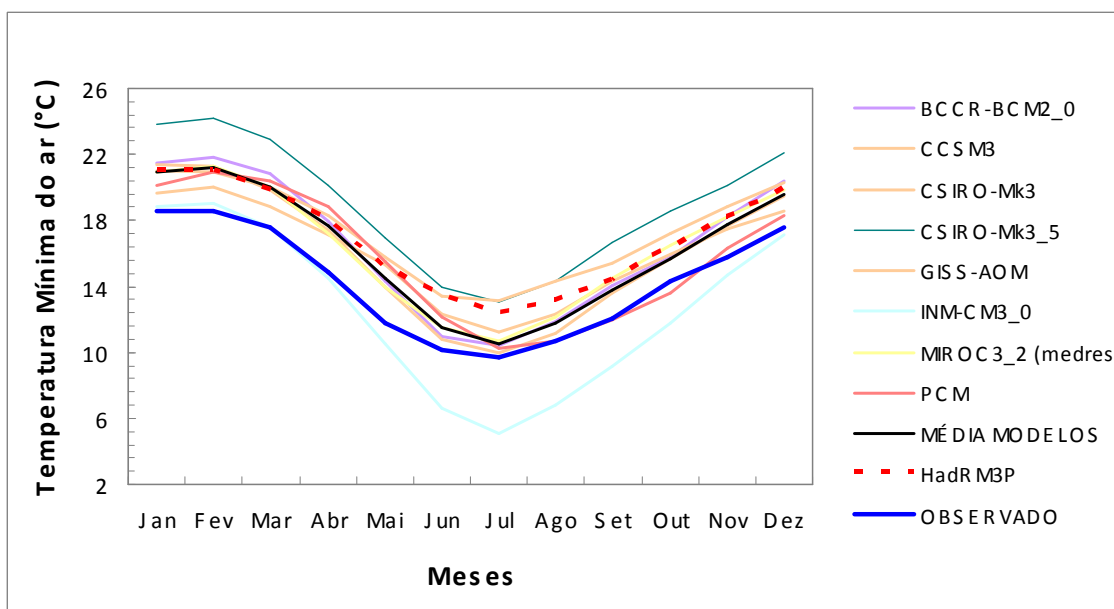


Figura 4.36 – Idem à Figura 4.35, porém para a temperatura mínima do ar (°C).

Em uma análise mais detalhada do ciclo anual das temperaturas do ar máxima e mínima, simulada pelo modelo regional HadRM3P para o clima presente (1961-1990), observou-se uma boa descrição do ciclo anual observado em diferentes localidades da Região Sul do Brasil. Conforme se observa na Figura 4.37, o ciclo anual da temperatura máxima do ar do Rio Grande do Sul representou de maneira coerente os meses mais frios e os mais quentes. Quantitativamente, o ciclo anual nestas localidades foi levemente subestimado (temperaturas máximas simuladas inferiores às temperaturas observadas). Observa-se nos meses entre o outono e inverno uma aproximação entre ambas as temperaturas máximas; em alguns casos elas quase se igualam. Salienta-se a eficiência do modelo em simular o ciclo anual de algumas localidades, tais como o de São Luiz Gonzaga, no Rio Grande do Sul, local na qual a maior diferença entre a temperatura observada e a simulada ocorre nos meses mais quentes e não supera 1°C.

O mesmo resultado pode ser observado para Santa Catarina (Figura 4.38), em que o modelo HadRM3P mostrou boa capacidade de simular o clima presente (1961-1990). Deve-se notar, no entanto, que em todas as localidades do Estado Catarinense o ciclo anual foi levemente subestimado, exceto do outono ao início do inverno em São Joaquim, período na qual a temperatura máxima média mensal do modelo HadRM3P foi superior à média climatológica desta localidade. No Estado do Paraná, em algumas das localidades analisadas, os meses mais quentes apresentaram diferença um pouco maior entre os dados observados e os dados modelados, como pode ser observado para Cambará e Londrina (Figura 4.38). Para Curitiba, entre a primavera e o início do outono, os dados observados foram levemente superestimados pelo modelo.

A distribuição dos ciclos anuais da temperatura mínima do ar tem um comportamento semelhante ao da máxima, em especial no RS e SC (Figuras 4.39 e 4.40), com representações muito próximas dos valores observados e modelados. Do mesmo modo que para o RS e SC, os ciclos anuais de temperatura mínima do PR apresentaram uma melhor concordância entre os dados observados e os simulados em comparação a temperatura máxima do ar. A grande diferença, porém, foi que as temperaturas mínimas

médias mensais simuladas pelo modelo HadRM3P, na maioria dos casos, superestimaram os dados observados.

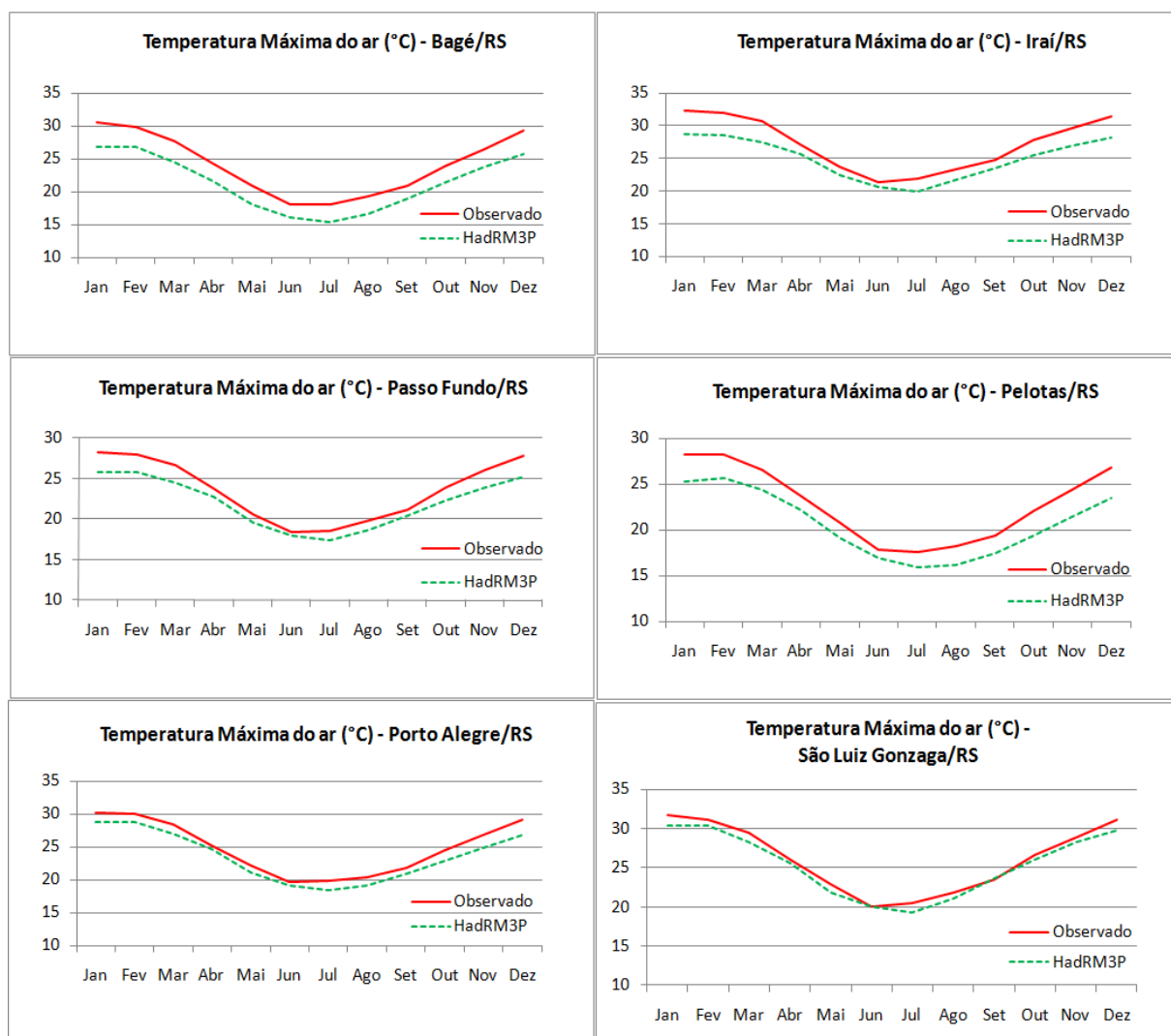


Figura 4.37 – Ciclo anual da temperatura máxima do ar (°C) observada em estações meteorológicas do RS (linha vermelha – contínua) e simulada pelo modelo HadRM3P (linha verde – pontilhada), considerando o período de 1961-1990.



Figura 4.38 – Idem à Figura 4.37, porém para as estações meteorológicas do PR e SC.

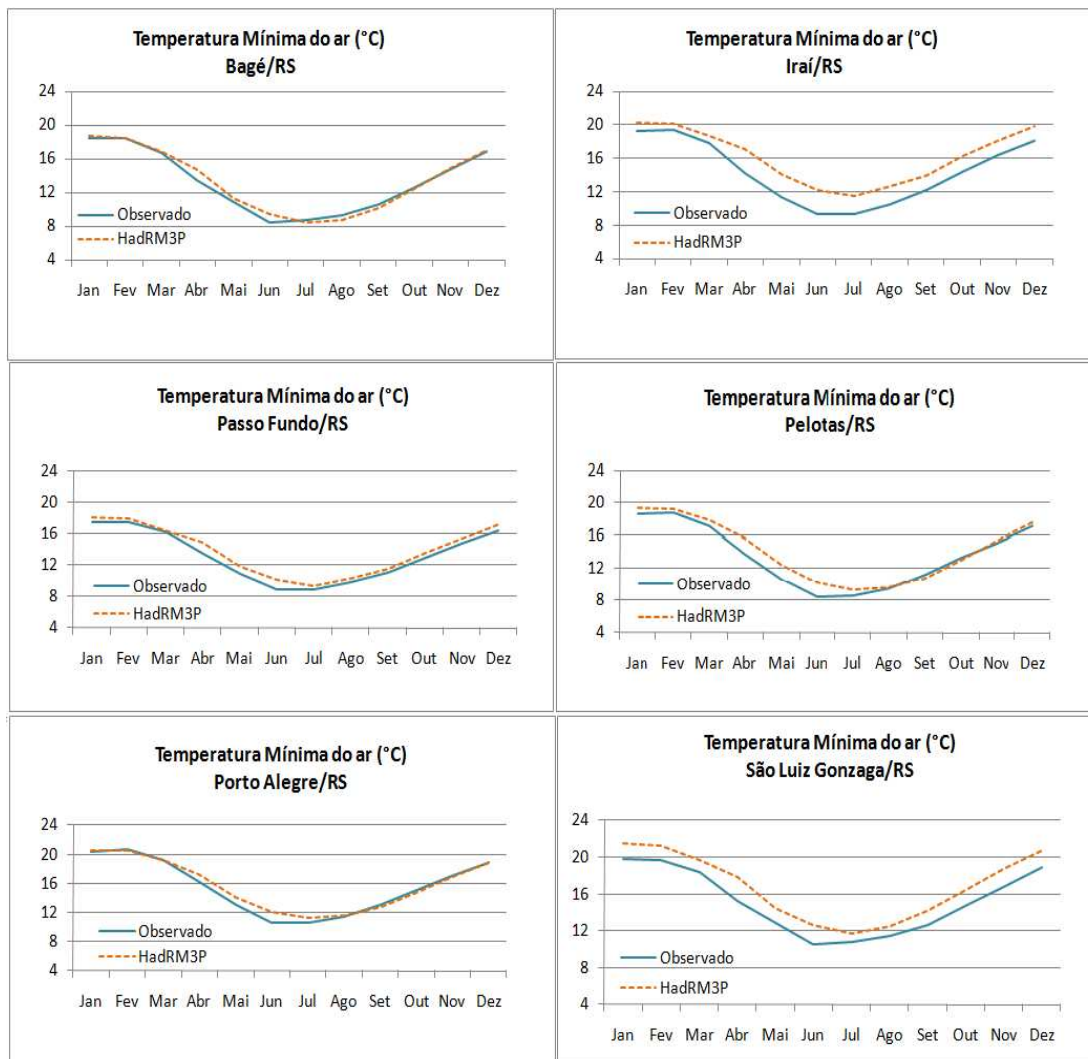


Figura 4.39 – Ciclo anual da temperatura mínima do ar (°C) observada em estações meteorológicas do RS (linha azul – contínua) e simulada pelo modelo HadRM3P (linha laranja – pontilhada), considerando o período de 1961-1990.

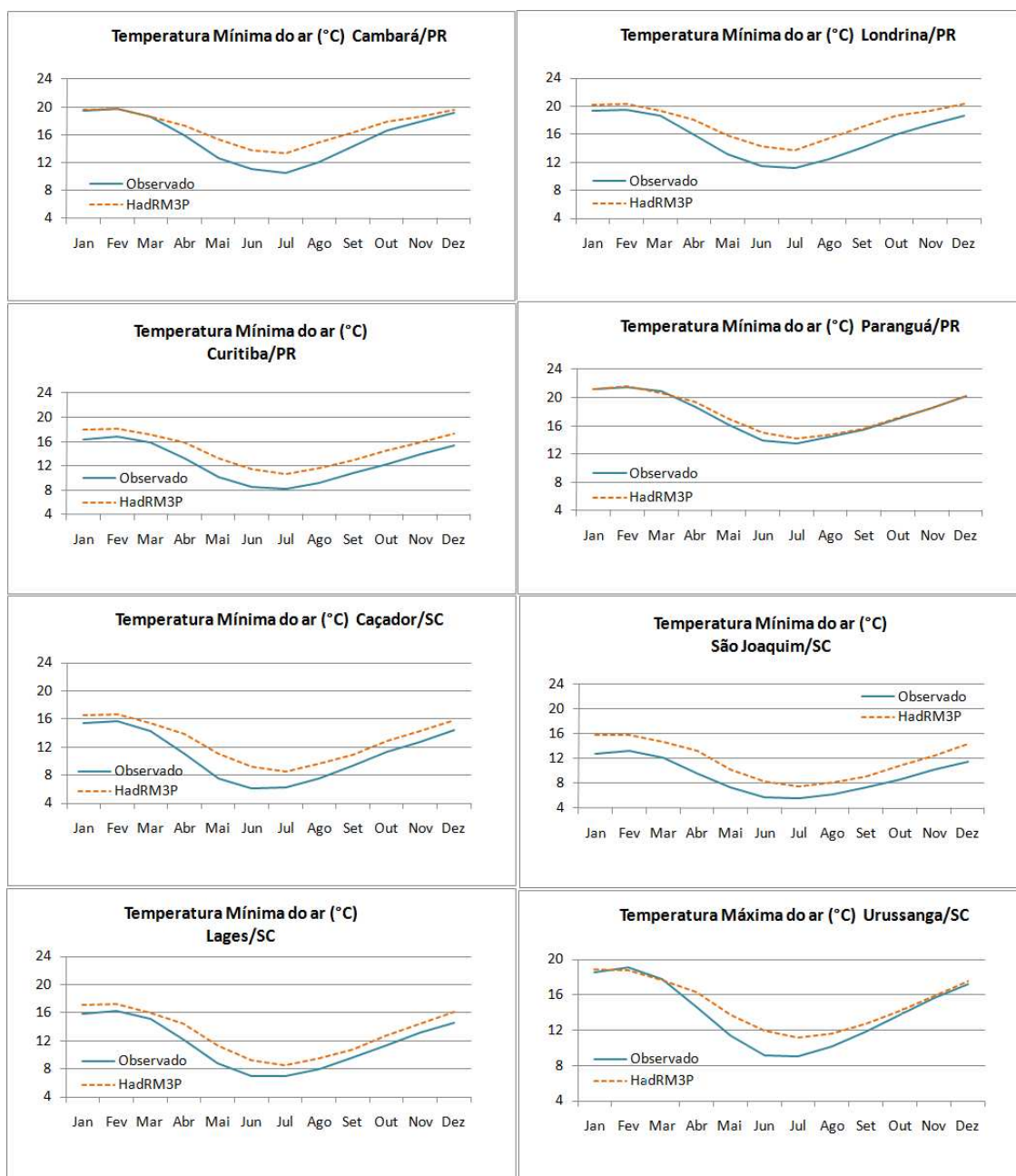


Figura 4.40 – Idem à Figura 4.39, porém para as estações meteorológicas do PR e SC.

Complementando a análise, calculou-se o viés (diferença entre a simulação e os dados observados) do modelo HadRM3P em relação aos dados observados de temperatura do ar, considerando-se as estações meteorológicas da Região Sul do Brasil. Esta análise foi realizada em níveis anual e sazonal.

Analisando primeiramente o viés em nível anual (Figura 4.41), observou-se o forte contraste entre as temperaturas máxima e mínima. Observou-se a partir da análise anterior que o modelo HadRM3P, em geral, tendeu a superestimar a temperatura mínima do ar, com desvios da ordem de 1°C em relação aos dados observados.

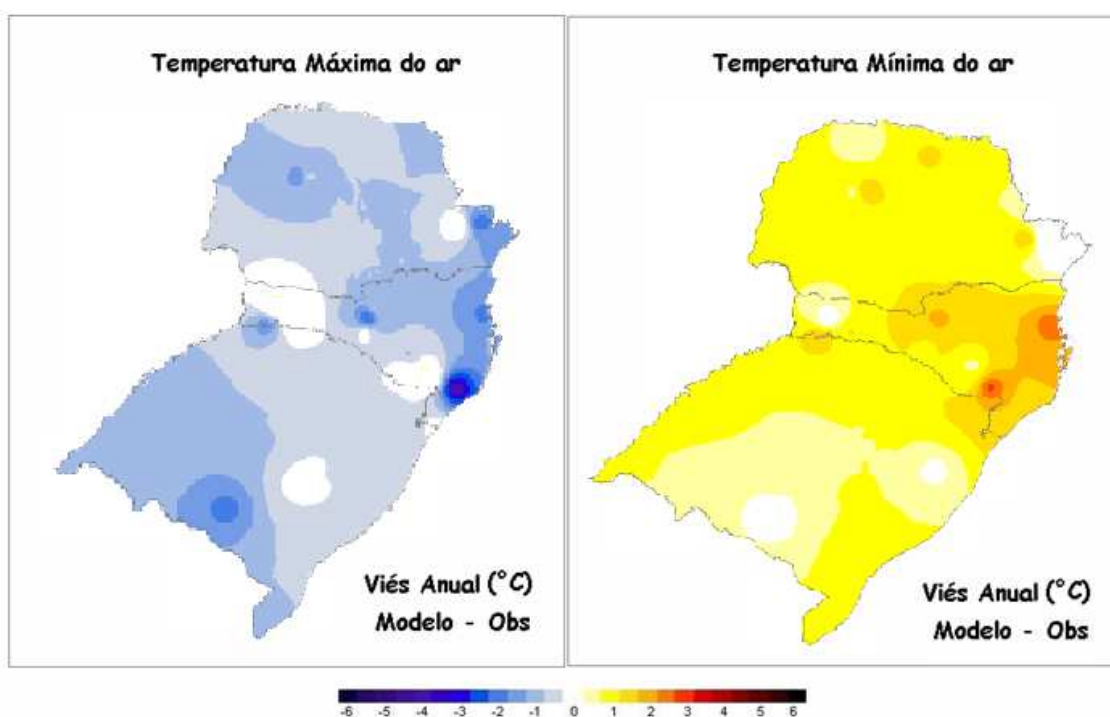


Figura 4.41 – Representação da diferença de temperatura entre os dados observados em estações meteorológicas da Região Sul do Brasil e os dados simulados pelo modelo HadRM3P, ambos para o período de 1961-1990.

Em nível sazonal (Figuras 4.42 e 4.43) observou-se que em todas as estações do ano a temperatura máxima foi levemente subestimada pelo modelo, em no máximo 3-4°C e especialmente no verão. No inverno, em especial no setor centro-norte da Região Sul, a simulação com o HadRM3P gerou valores bastante próximos àqueles observados nesta região; enquanto que para a temperatura mínima houve uma discrepância maior entre os dados observados e os dados simulados, de maneira similar para as quatro estações do ano, com desvios maiores no litoral Catarinense e em regiões do Paraná.

A Tabela 4.6 apresenta um sumário dos *scores* estatísticos: coeficiente de correlação e erro quadrático médio (RMSE), os quais foram determinados para os ciclos anual e sazonal das temperaturas do ar, máxima e mínima da Região Sul do Brasil. Ambos os *scores* foram determinados ao relacionar os valores de temperatura do ar observados em estações meteorológicas e os valores simulados pelo HadRM3P. Observaram-se resultados bastante expressivos em praticamente todas as análises, em especial nas análises do ciclo médio anual, em que os coeficientes de correlação foram superiores a 0,98 em quase todas as localidades, exceto em Cambará (0,71), Londrina (0,82) e Curitiba (0,95), embora estes sejam considerados coeficientes elevados. De modo geral, os valores de RMSE foram relativamente baixos, da ordem de 0,5 a 2,5, em termos médios, o que indica que o modelo conseguiu simular bem os ciclos anual e sazonal.

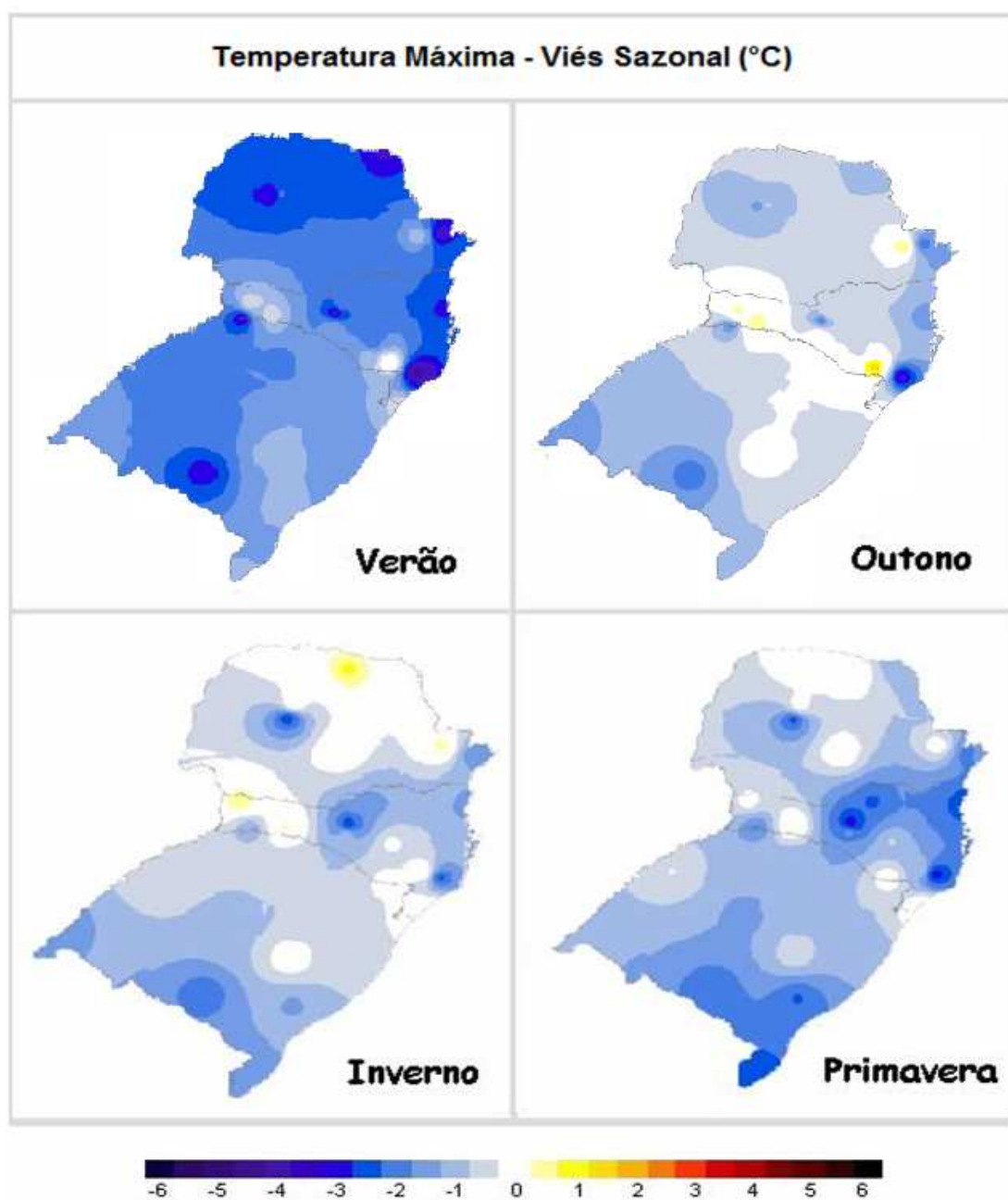


Figura 4.42 – Representação em nível sazonal da diferença de temperatura máxima do ar entre os dados observados em estações meteorológicas da Região Sul do Brasil e os dados simulados pelo modelo HadRM3P, ambos para o período de 1961-1990.

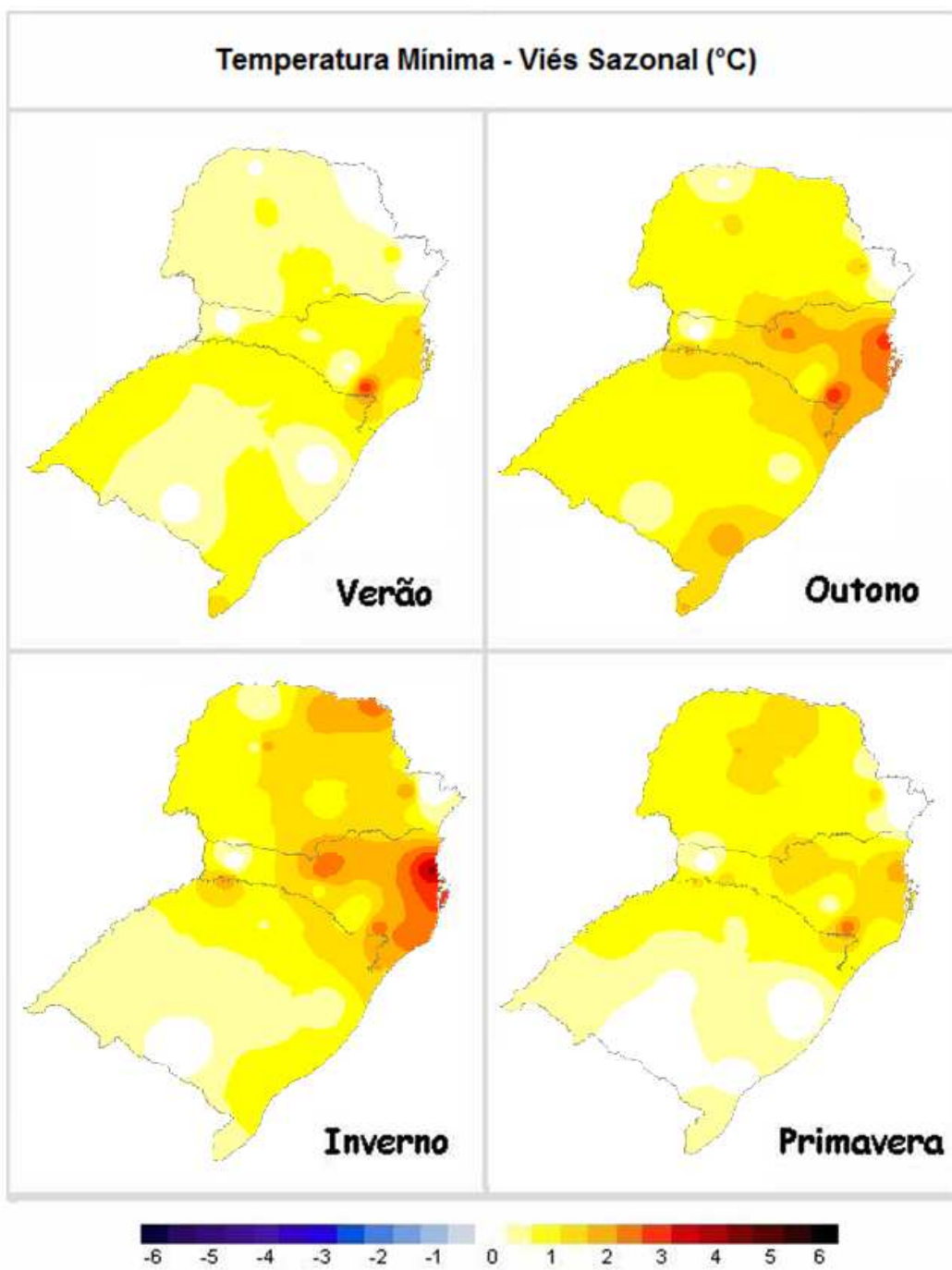


Figura 4.43 – Idem à Figura 4.42, porém para a temperatura mínima do ar.

Tabela 4.6 – Coeficiente de correlação e raiz do erro quadrático médio (RMSE) entre a temperatura do ar média mensal observada e a simulada pelo modelo HadRM3P para a Região Sul do Brasil, considerando o período de 1961-1990.

	Coeficiente de Correlação		RMSE	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
Ciclo anual	0,71 a 1,0	0,9 a 1,0	0,6 a 2,5	0,5 a 2,3
Verão	0,84	0,87	2,0	1,0
Outono	0,89	0,84	1,3	1,4
Inverno	0,92	0,82	1,1	1,6
Primavera	0,91	0,90	1,2	1,2

4.2.2 CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA SIMULADOS PELO MODELO HADRM3P PARA O CLIMA FUTURO (2071-2100).

Conforme se pode observar ao longo do presente estudo, os padrões de temperatura do ar têm se alterado com o passar dos anos. Nas análises a seguir são avaliadas quais seriam as projeções climáticas para um clima futuro na Região Sul do Brasil e como seriam as variações em escalas anuais, sazonais e mensais. De acordo com a metodologia proposta, tais projeções levaram em conta dois diferentes cenários de emissão de gases: A2 (altas emissões de gases de efeito estufa, conhecido como o mais “*pessimista*”) e B2 (baixas emissões de gases de efeito estufa, o mais otimista). Considerando estes dois cenários de emissões, foram feitas análises das mudanças de temperatura do ar para o clima futuro (2071-2100) em relação à climatologia do próprio modelo para o presente (período 1961-1990). Foram consideradas para a análise apenas as projeções estatisticamente significativas ao nível de 95% usando o teste *t Student*.

Em nível anual (Figura 4.44), o modelo HadRM3P apontou aquecimento, tanto da temperatura média quanto da máxima e da mínima. Como esperado, no cenário A2 o aquecimento seria mais drástico, com variações de 2,5 a 5°C. O litoral sul e a região sul do RS teriam aumentos menores de temperatura do ar (no máximo 2,0°C) em nível anual.

Vale salientar que este resultado de aumento da temperatura do ar é consonante com o aumento já detectado nos cenários atuais, o que torna ainda mais preocupante a grandeza do impacto aos diferentes setores.

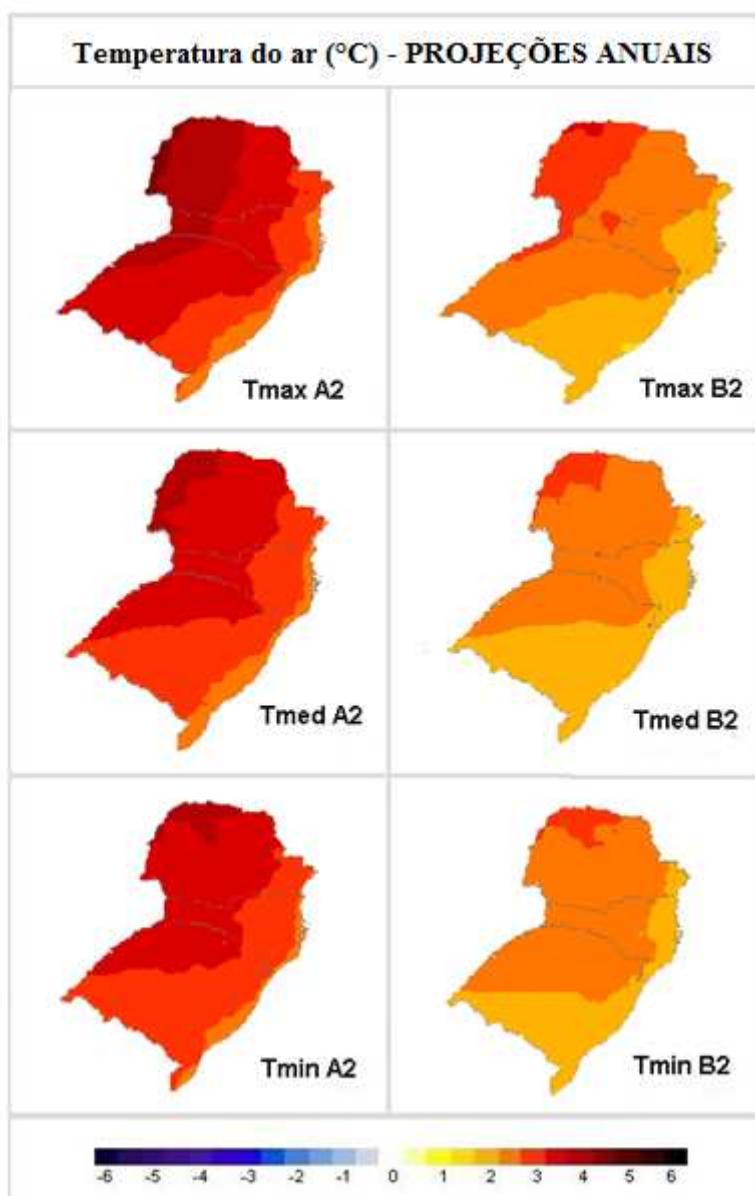


Figura 4.44 – Projeções de temperatura do ar, máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) para o período 2071-2100 nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.

Sazonalmente, todos os cenários também apontaram aquecimento na Região Sul do Brasil, variando de acordo com a época do ano. De modo geral, as projeções sazonais de temperatura do ar apresentaram variações com efeitos longitudinais e latitudinais, com aumento mais ameno nas regiões próximas à costa gaúcha e mais intenso no setor noroeste do Rio Grande do Sul e ao oeste do Paraná (Figuras 4.45 a 4.47).

Como se pode observar nos cenários de temperatura máxima, o verão e a primavera são as estações que sofrerão maior impacto, tanto no cenário A2 quanto para o B2 do HadRM3P (Figura 4.45). No verão as máximas poderão ter um aumento de até 5,2°C pelo cenário A2 e de no máximo 4°C pelo cenário B2; enquanto que na primavera as alterações máximas poderão ser de 5,8°C pelo cenário A2 e de 4,9°C pelo cenário B2, conseqüentemente no cenário B2 o aquecimento será maior na primavera que no verão.

Os cenários para a temperatura média mostraram resultados semelhantes aos da temperatura máxima, com aumentos maiores no verão e na primavera (Figura 4.46). Do mesmo modo, o cenário B2 diferenciou-se dos demais, indicando uma primavera mais quente, com anomalias chegando a 4,2°C, sendo o setor norte da região sul o mais quente.

Os cenários da temperatura mínima, tanto o A2 quanto o B2, apontaram para a Região Sul do Brasil, em especial para os Estados do Paraná e Santa Catarina, um outono e um inverno com temperaturas mínimas mais elevadas que as máximas e com uma maior distribuição espacial de anomalias mais elevadas. Pelo cenário A2 as maiores anomalias de temperatura mínima chegariam a 4,8°C na primavera.

De modo geral, ambos os cenários do modelo HadRM3P apresentaram um aquecimento para a Região Sul do Brasil, com anomalias maiores no Paraná e aumentos mais amenos no sul do Rio Grande do Sul e no litoral da região Sul. A primavera destaca-se pelas elevadas anomalias das temperaturas mínimas.

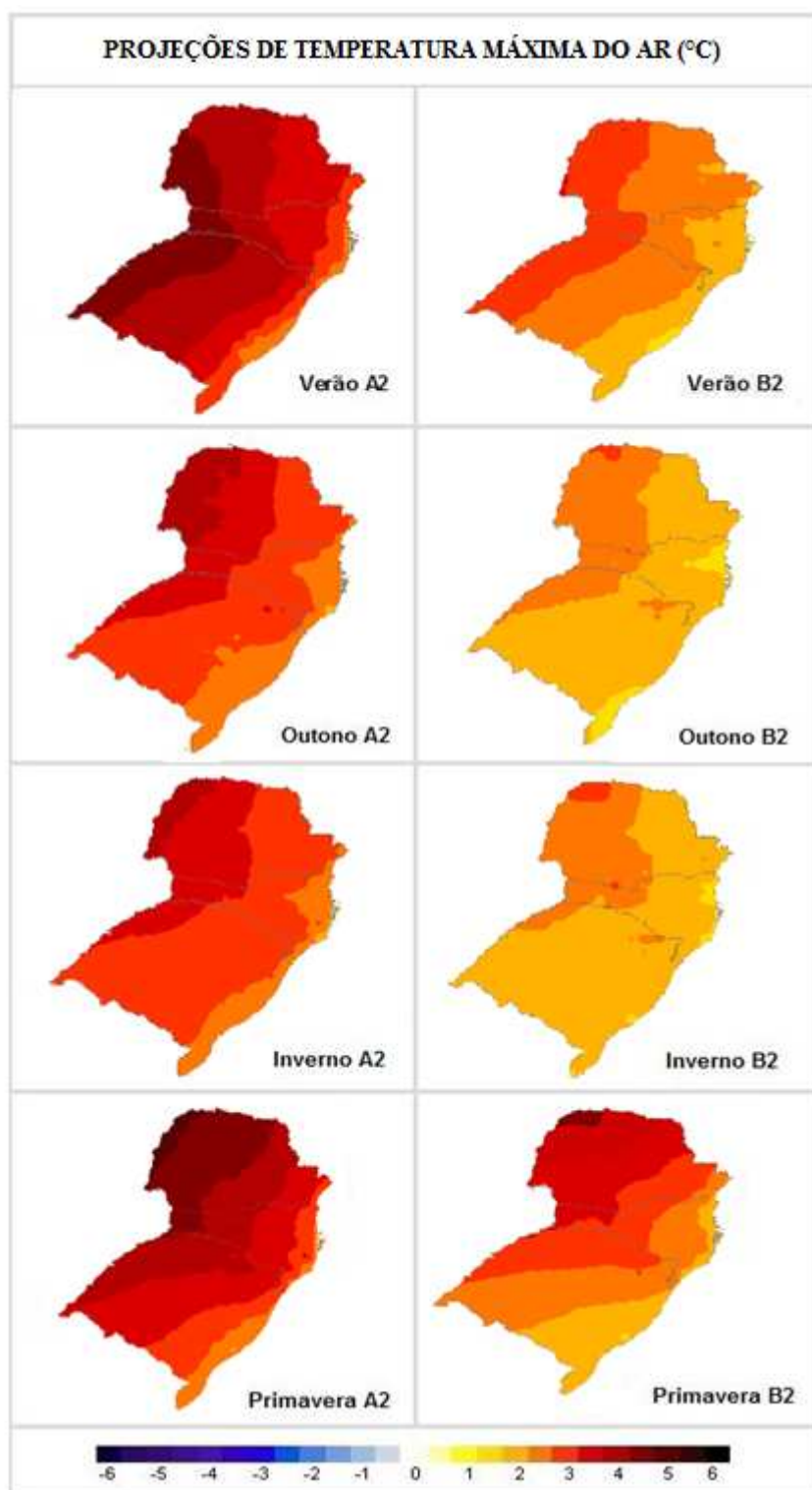


Figura 4.45 – Projeções de temperatura máxima do ar, para o período de 2071-2100, nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.

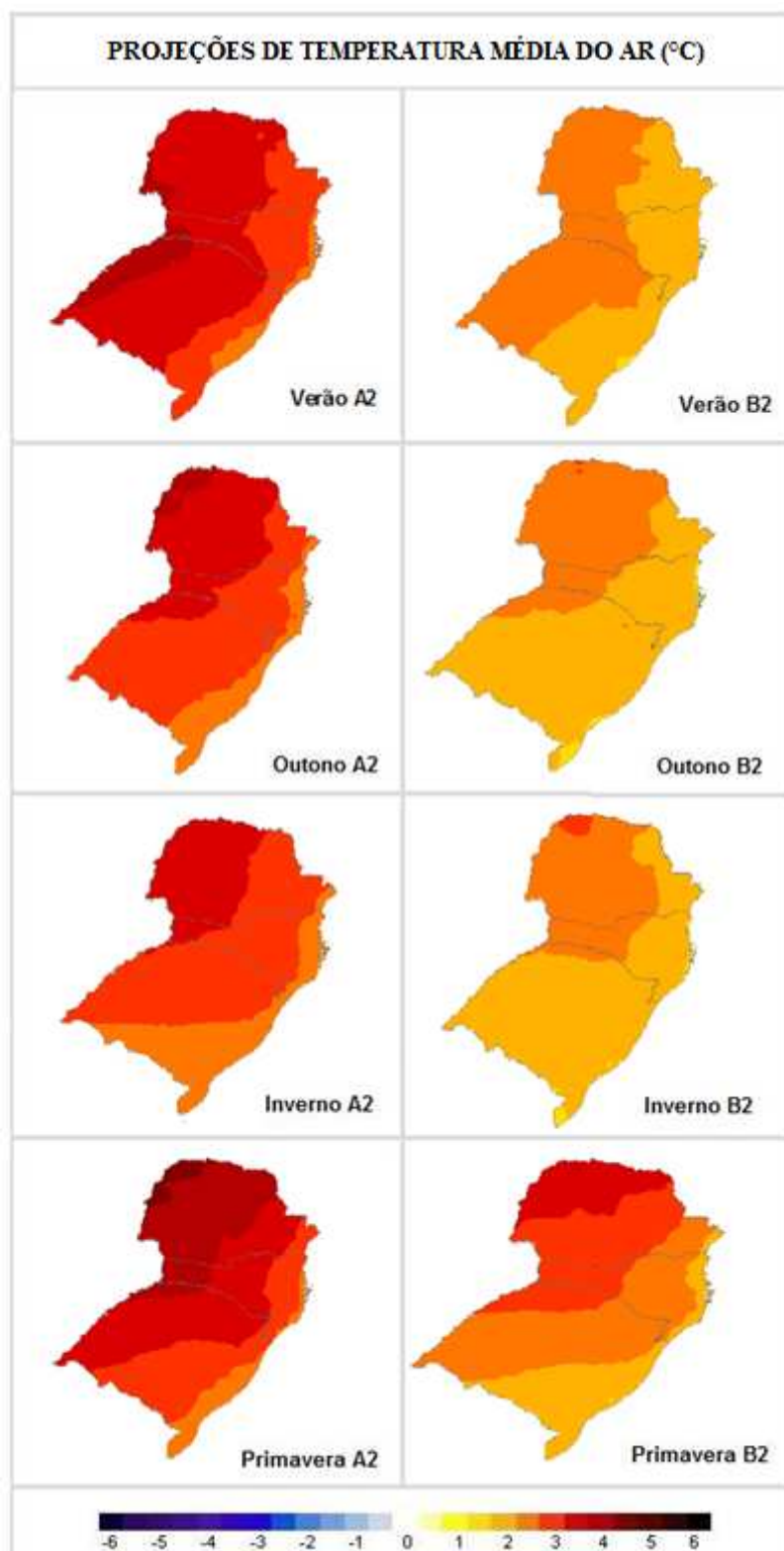


Figura 4.46 – Idem à Figura 4.45, porém para a temperatura média do ar.

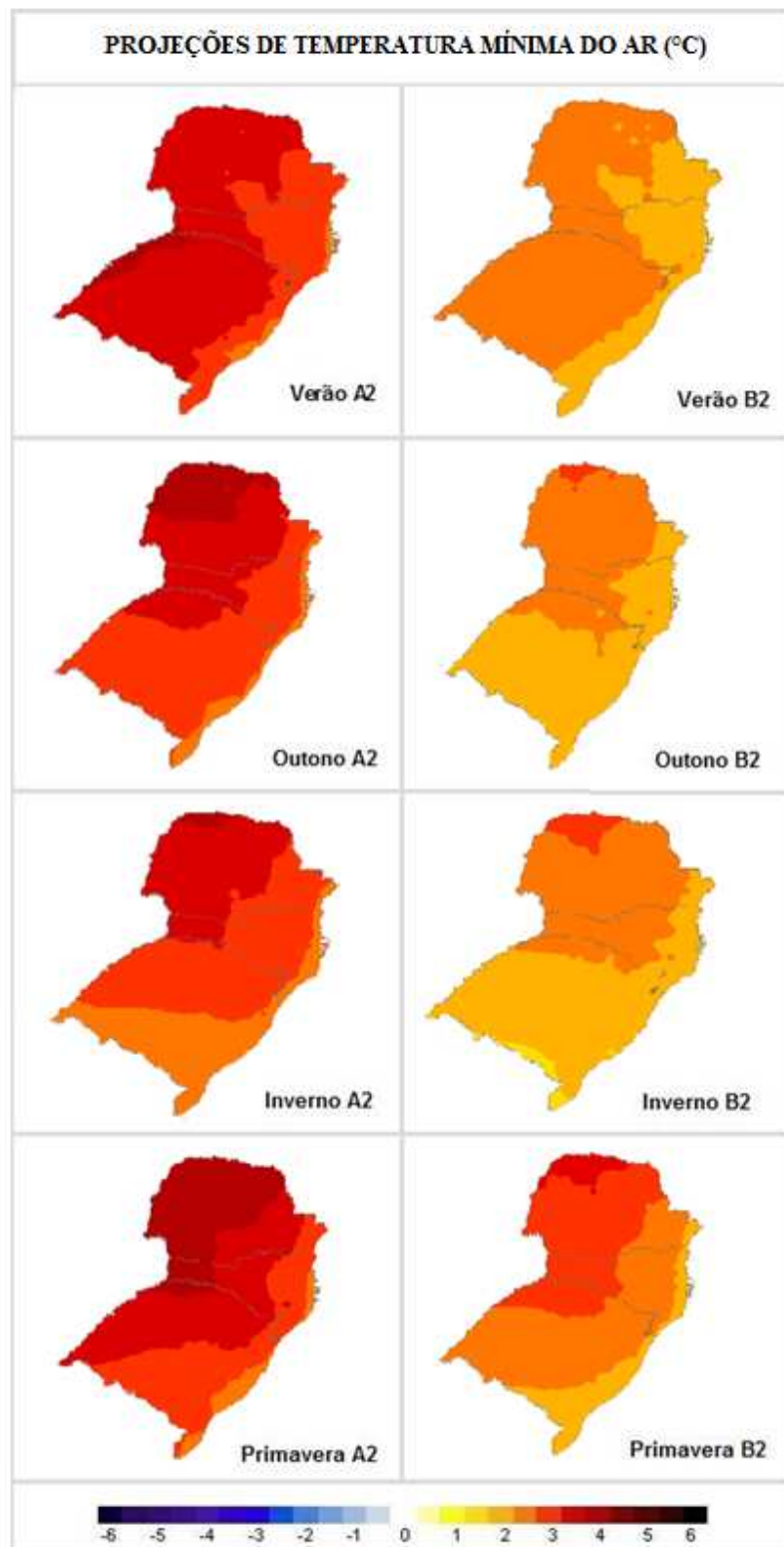


Figura 4.47 – Idem à Figura 4.45, porém para a temperatura mínima do ar.

Ao analisar as projeções mensais de temperatura do ar como um conjunto observou-se claramente os diferentes aumentos de temperatura gerados em função dos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P. Alguns meses destacaram-se pelo forte aumento de temperatura do ar que está sendo projetado, com um aquecimento mais perceptível para as temperaturas máximas.

Conforme se observa nas Figuras 4.48, 4.49 e 4.50, é unânime a resposta do modelo HadRM3P a um superaquecimento nos meses da primavera, em especial no mês de *setembro*. Para este mês o maior aumento é superior a 6,0°C (cenário A2), na região norte do Estado do Paraná. De modo geral, são nos meses das estações intermediárias, outono e primavera, que o sinal de aquecimento foi mais evidente.

Abril, maio e junho são meses em que o aumento da temperatura do ar será mais suave em relação ao demais meses, com um aumento médio de 2°C. Os resultados também mostraram uma tendência de invernos mais quentes, especialmente em relação às anomalias de temperatura mínima (Figura 4.50).

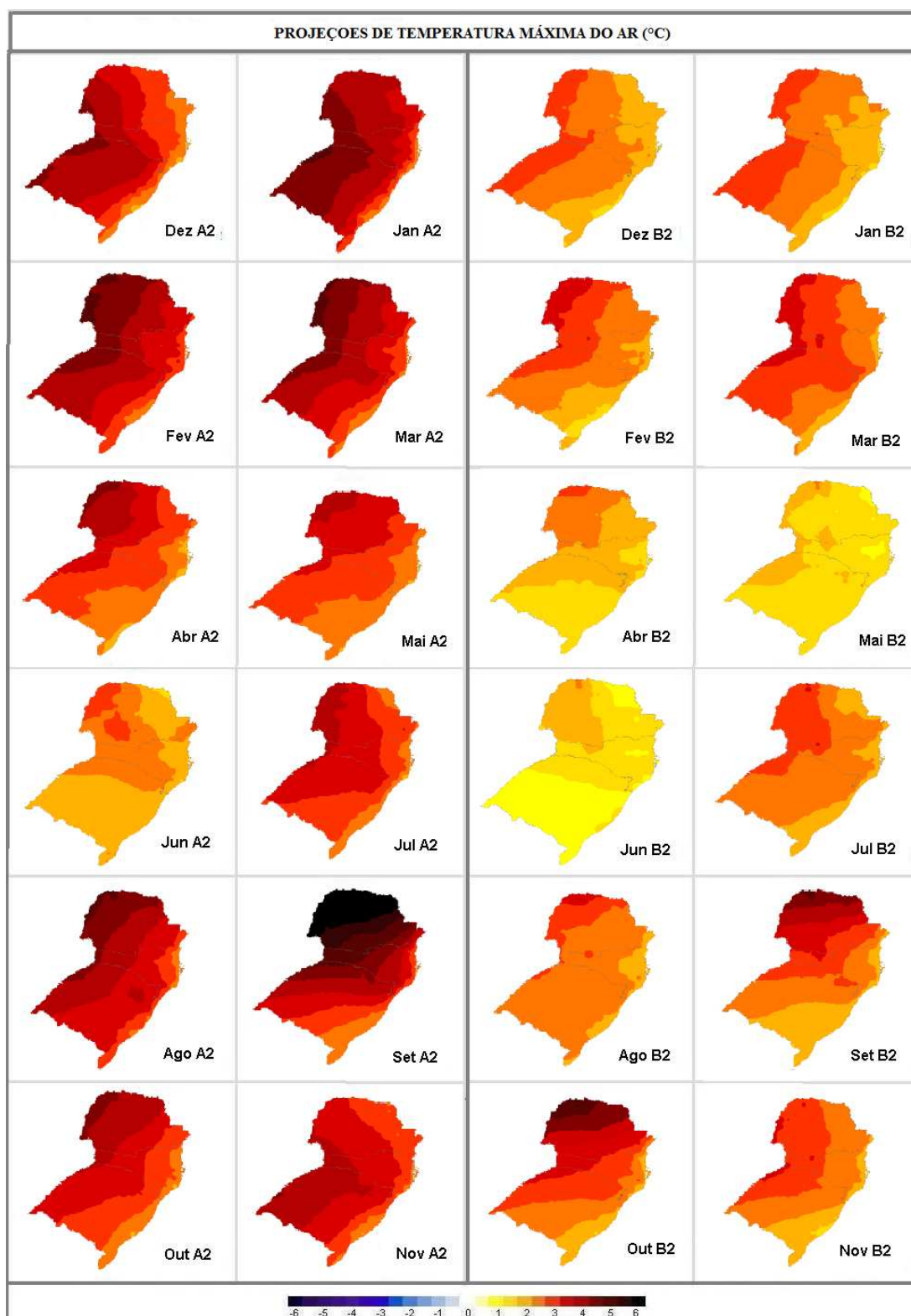


Figura 4.48 – Projeções mensais de temperatura máxima do ar, para o período de 2071-2100, nos cenários A2 e B2 simulados pelo modelo HadRM3P.

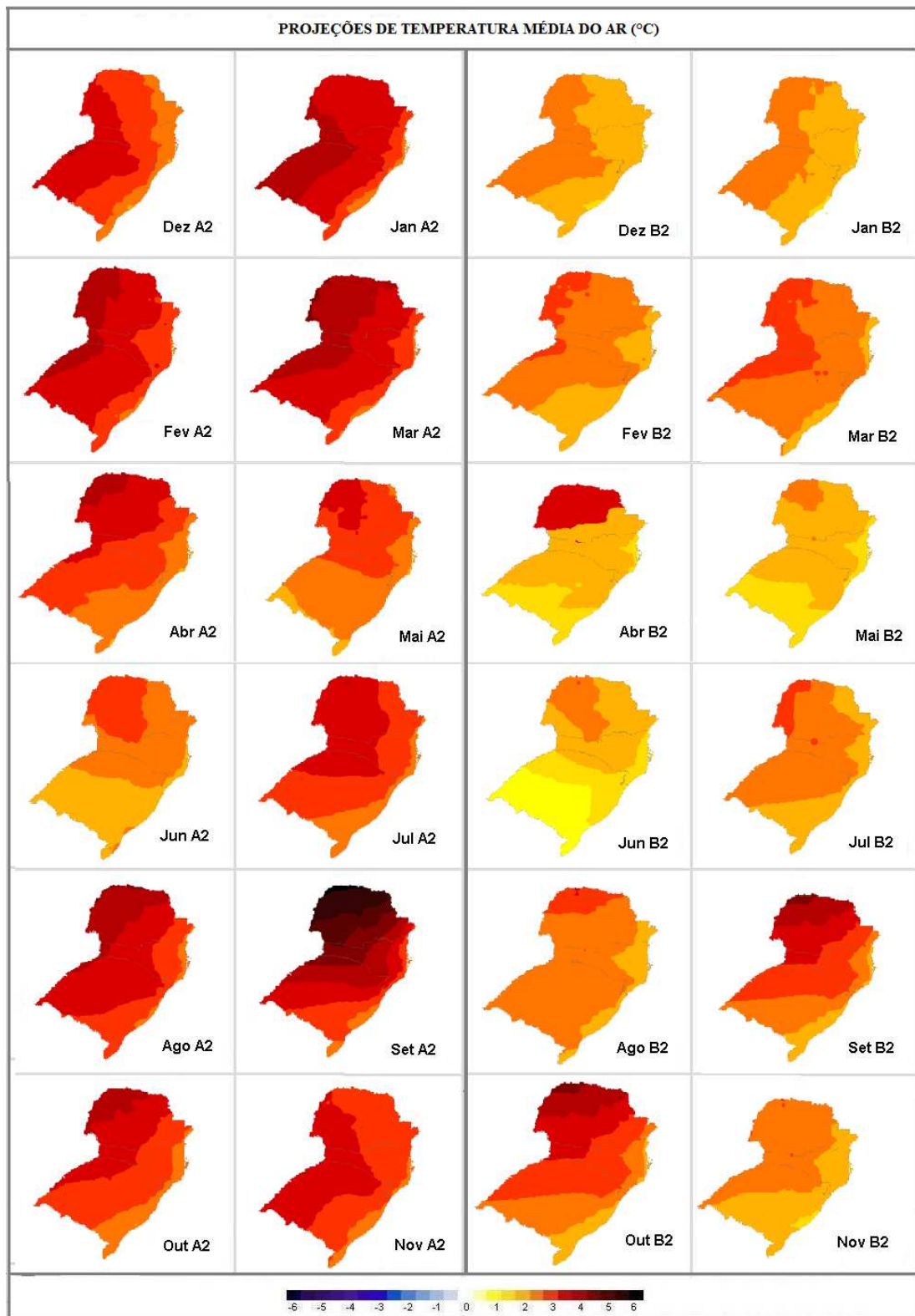


Figura 4.49 – Idem à Figura 4.48, porém para a temperatura média do ar.

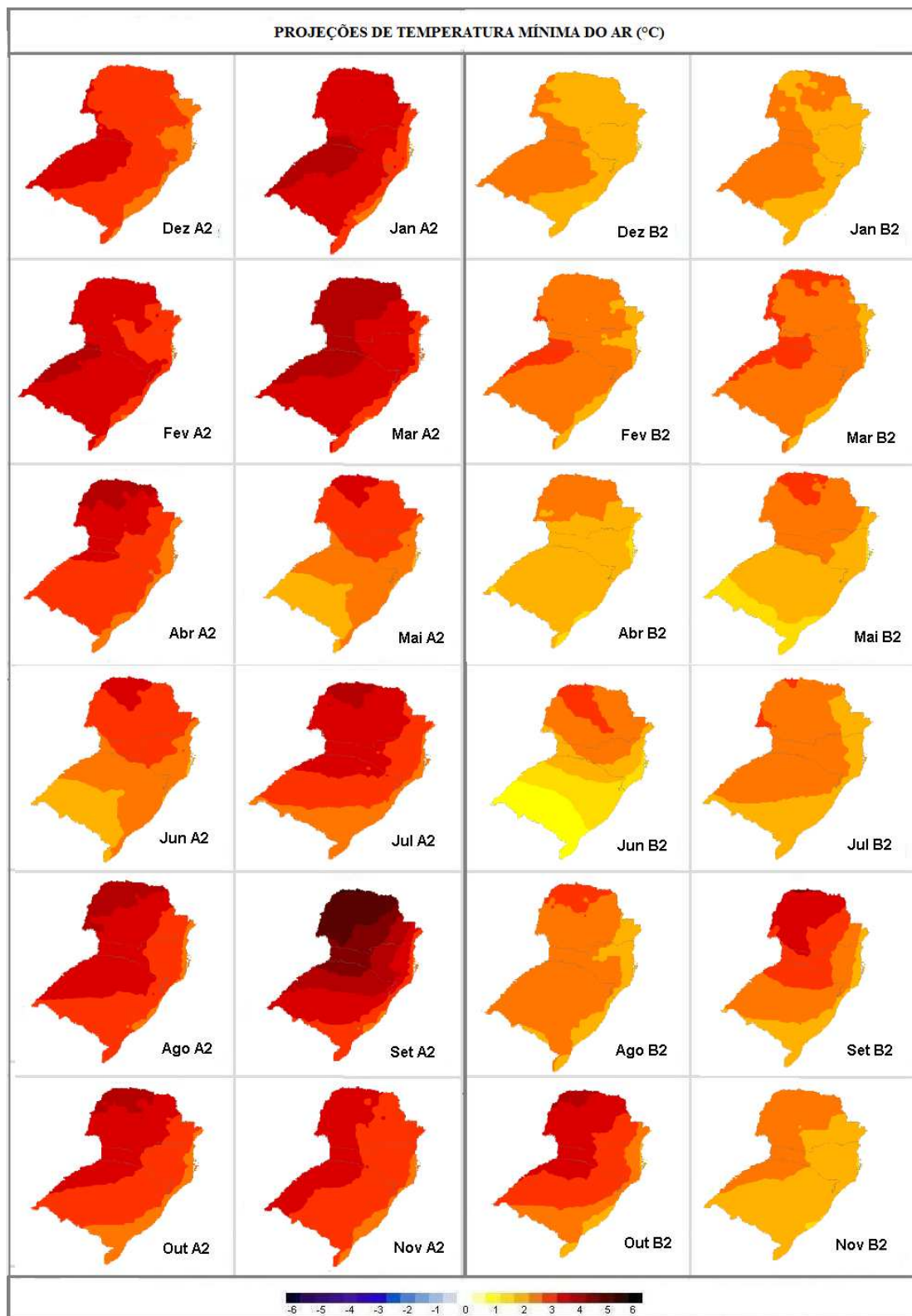


Figura 4.50 – Idem à Figura 4.48, porém para a temperatura mínima do ar.

4.3 PROJEÇÕES DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS E IMPLICAÇÕES DE POSSÍVEIS IMPACTOS NOS CULTIVOS DE PÊSSEGO E DE NECTARINA.

Tendo como base os cenários climáticos gerados para o futuro, A2 e B2, nesta etapa do trabalho investigou-se o impacto que estas projeções causariam nos cultivos de pêsego e de nectarina. Portanto, para o cumprimento desta etapa levaram-se em consideração as principais peculiaridades destes cultivares em relação à variabilidade térmica da Região Sul do Brasil.

O pêsego e a nectarina são culturas de clima temperado. A temperatura do ar é o principal regulador do metabolismo das plantas, respondendo pelos seus processos de crescimento e desenvolvimento. Baixas temperaturas são necessárias para que as plantas possam superar o período de dormência das gemas vegetativas e florais, porém a ocorrência de geadas no desenvolvimento das gemas, no florescimento ou na primeira fase de desenvolvimento do fruto, constitui-se de um fator de alto risco para os cultivos do pêsego e da nectarina.

No verão, temperaturas elevadas durante o dia e amenas no período noturno propiciam aumento no teor de açúcares e melhorias da coloração dos frutos. Por outro lado, nos meses mais frios do ano, temperaturas acima de 25°C podem causar grande índice de abortamento (MONET; BASTARD, 1971).

Na Região Sul do Brasil, a maioria dos cultivares de pêsego e de nectarina requer de 600 a 1000 horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C para o seu bom desenvolvimento; porém, estas exigências variam de região para região, de acordo com as peculiaridades de cada cultivar. Há cultivares, por exemplo, que necessitam de menos de 100 horas de frio. No entanto, a aplicação de um mesmo método de análise para a Região Sul como um todo requer ajustes de critérios e dados que possam responder às particularidades de cada Estado.

Por tais motivos adotou-se, como uma análise inicial dos possíveis impactos dos cenários climáticos na agricultura, o zoneamento agroclimático apenas para o Estado de Santa Catarina, para o qual todos os critérios necessários para aplicação das ferramentas utilizadas (que têm como base informações climáticas, tipo de solo aptos, safras passadas e demais referências geográficas) foram ajustados com suas respectivas peculiaridades. Para a aplicação do zoneamento analisaram-se também os cenários atuais e futuros da estimativa de horas de frio.

Considerando os dados de toda Região Sul do Brasil, nesta etapa foram também avaliados dois importantes critérios de análise de riscos ao plantio do pêssego e da nectarina: riscos de geada e riscos de temperaturas elevadas, cujos resultados são descritos a seguir.

4.3.1 ANÁLISES DE RISCO DE GEADA NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

A análise de risco de geada foi feita para toda a Região Sul do Brasil, através do cálculo, por decêndio, da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 1°C, 2°C e 3°C (critério mais e menos exigentes), para os meses de julho, agosto e setembro. Estes critérios foram definidos de acordo com as diferentes metodologias aplicadas para cada um dos três Estados da Região Sul (HERTER et al., 2002; CARAMORI et al., 2008; MASSIGMAN, 2006).

Conforme descrito na metodologia, primeiramente verificou-se o cenário atual de risco de geada (tendo como base os dados diários de estações observacionais); posteriormente, analisaram-se as probabilidades de ocorrência de geada tendo como base os cenários futuros de temperatura mínima do HadRM3, A2 e B2.

Os resultados mostraram claramente o efeito do aquecimento da temperatura do ar na redução do risco de geada, em ambas as análises (Figuras 4.51 a 4.59). E, conforme esperado, quanto maior o limiar (1, 2 ou 3°C) maior a probabilidade de ocorrência de

geada. Outra diferença observada foi em relação à menor probabilidade de ocorrência de geada, que ficou caracterizada para o mês de setembro, nos três limiares, o que respondeu ao forte aquecimento projetado para este mês.

De acordo com Caramori et al. (2008) o limiar recomendado para análise de frequência de geadas no Estado Paranaense é de 1°C no interior do abrigo meteorológico. Devido ao conhecido fenômeno da inversão térmica que ocorre durante a noite, forma-se um gradiente próximo à superfície, de tal maneira que, entre a altura do abrigo meteorológico (aproximadamente 2m) e a superfície do solo, a diferença de temperatura pode atingir de 3 a 8°C em noites com geadas. Utilizando o mesmo limiar para a aplicação dos cenários futuros, A2 e B2, projetados pelo HadRM3P, ao considerar apenas o critério de risco de geada observou-se que em ambos os cenários os cultivos de pêsego e de nectarina não apresentaram riscos superiores a 20% (Figuras 4.51, 4.52 e 4.53); embora na região centro-sul paranaense haja baixas probabilidades.

Considerando-se o risco de geada para o Rio Grande do Sul, adotou-se a temperatura mínima no abrigo igual a 2°C (HERTER et al., 2002) como limiar para os cultivos de pêsego e de nectarina. No mês de julho, os riscos de ocorrência de geada são maiores pelo cenário B2, em especial no sul do Estado e na região serrana (Figuras 4.54, 4.55 e 4.56). Nas regiões do Médio e Alto Vale do Uruguai e Planície Central, próxima à Lagoa dos Patos, regiões de baixa altitude, os riscos são menores, não superando os 20%.

No Estado de Santa Catarina ocorreram as maiores probabilidades de ocorrência de geadas, em decorrência principalmente de elevadas altitudes e de regiões de baixo vale. Segundo Massigman (2006) e outros experimentos com cultivares de pêsego e de nectarina, o limiar adotado foi o de 3°C. Considerando como risco as probabilidades superiores a 20%, no mês de julho os riscos são maiores na região serrana. Nos decêndios 1 e 2 os riscos se estenderam até o mês de agosto, os quais também foram projetados pelo cenário A2 (Figuras 4.57, 4.58 e 4.59).

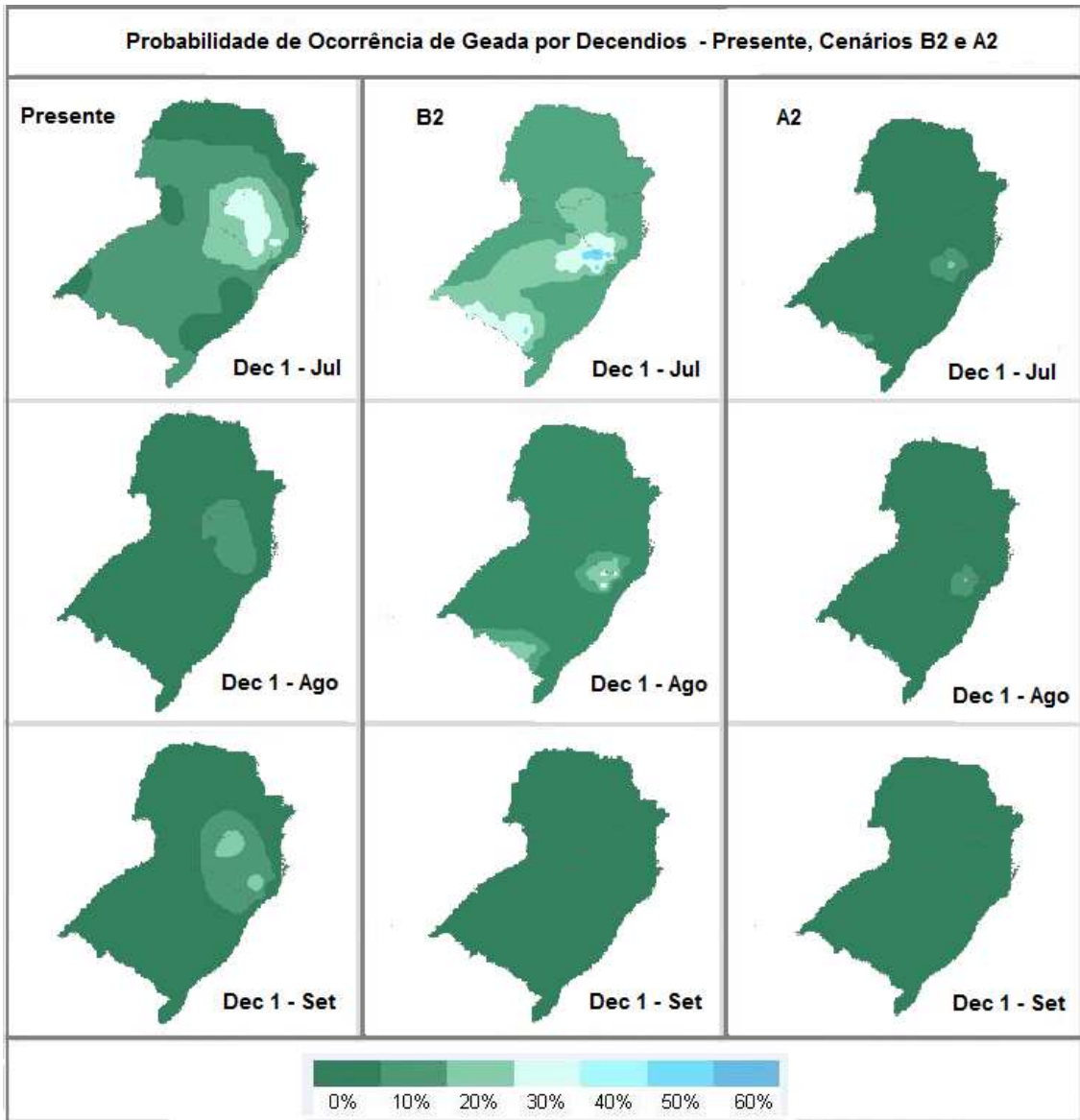


Figura 4.51 – Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 1°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.

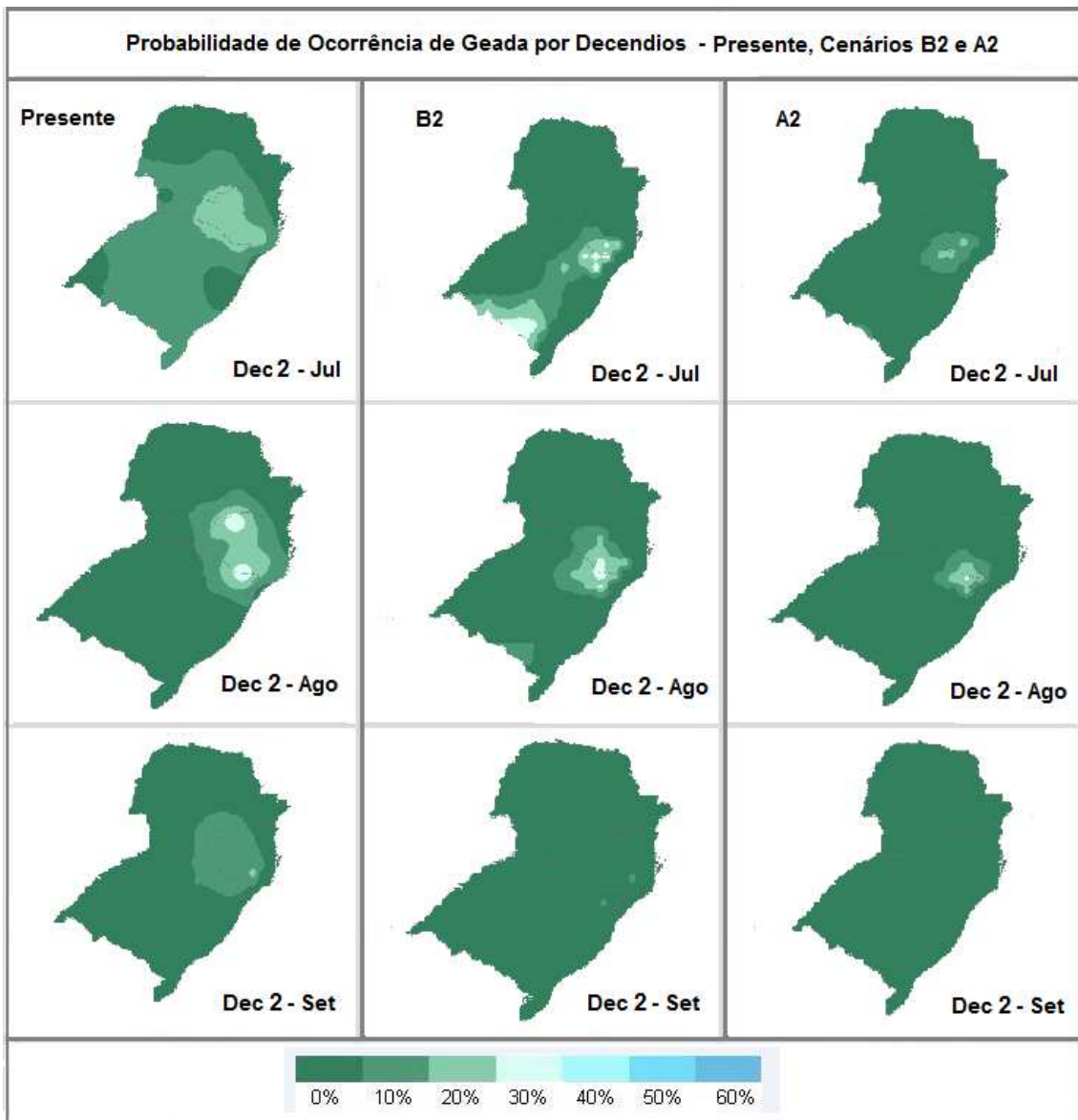


Figura 4.52 – Idem à Figura 4.51, porém para o decêndio 2.

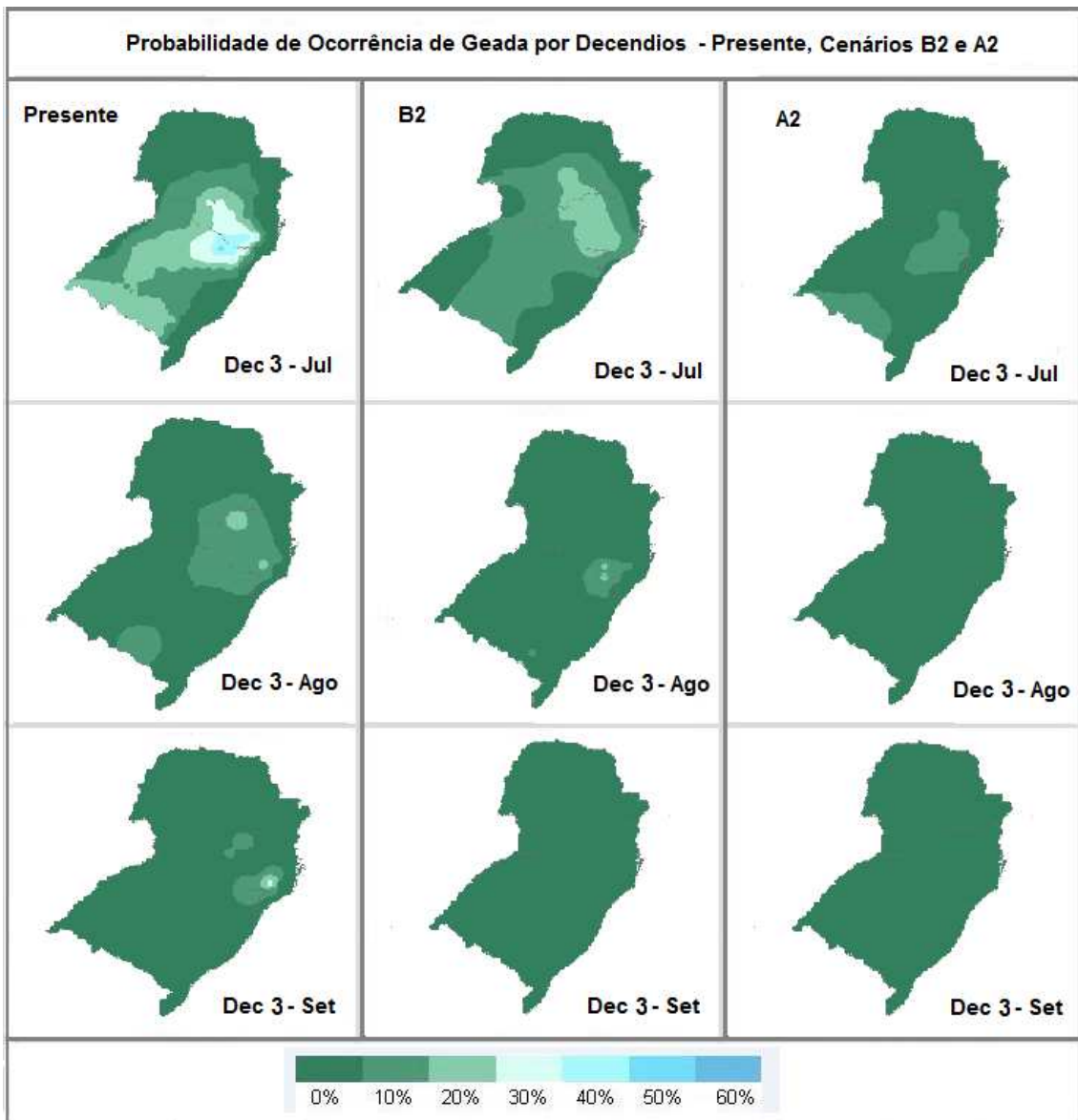


Figura 4.53 – Idem à Figura 4.51, porém para o decêndio 3.

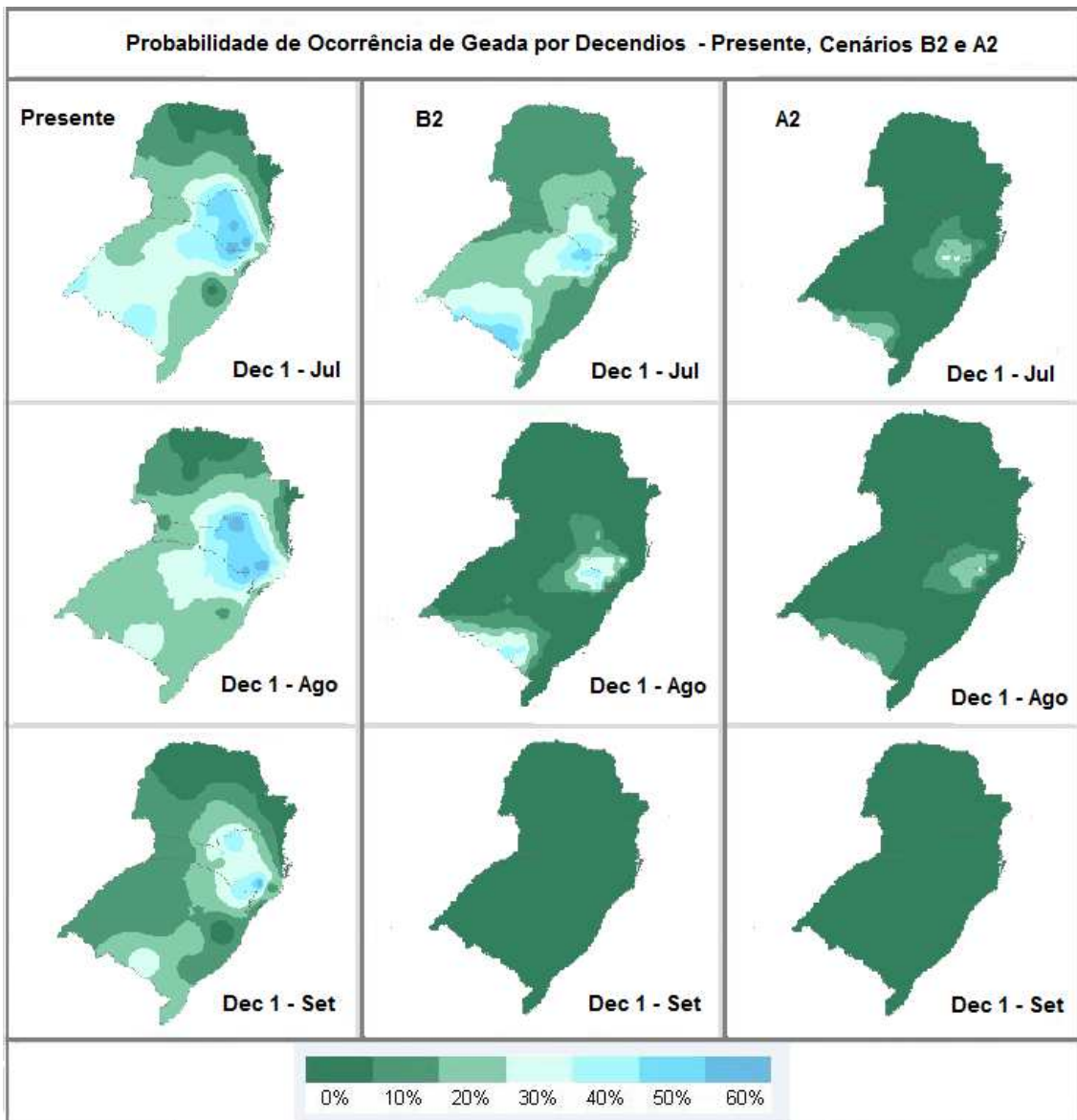


Figura 4.54 – Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 2°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.

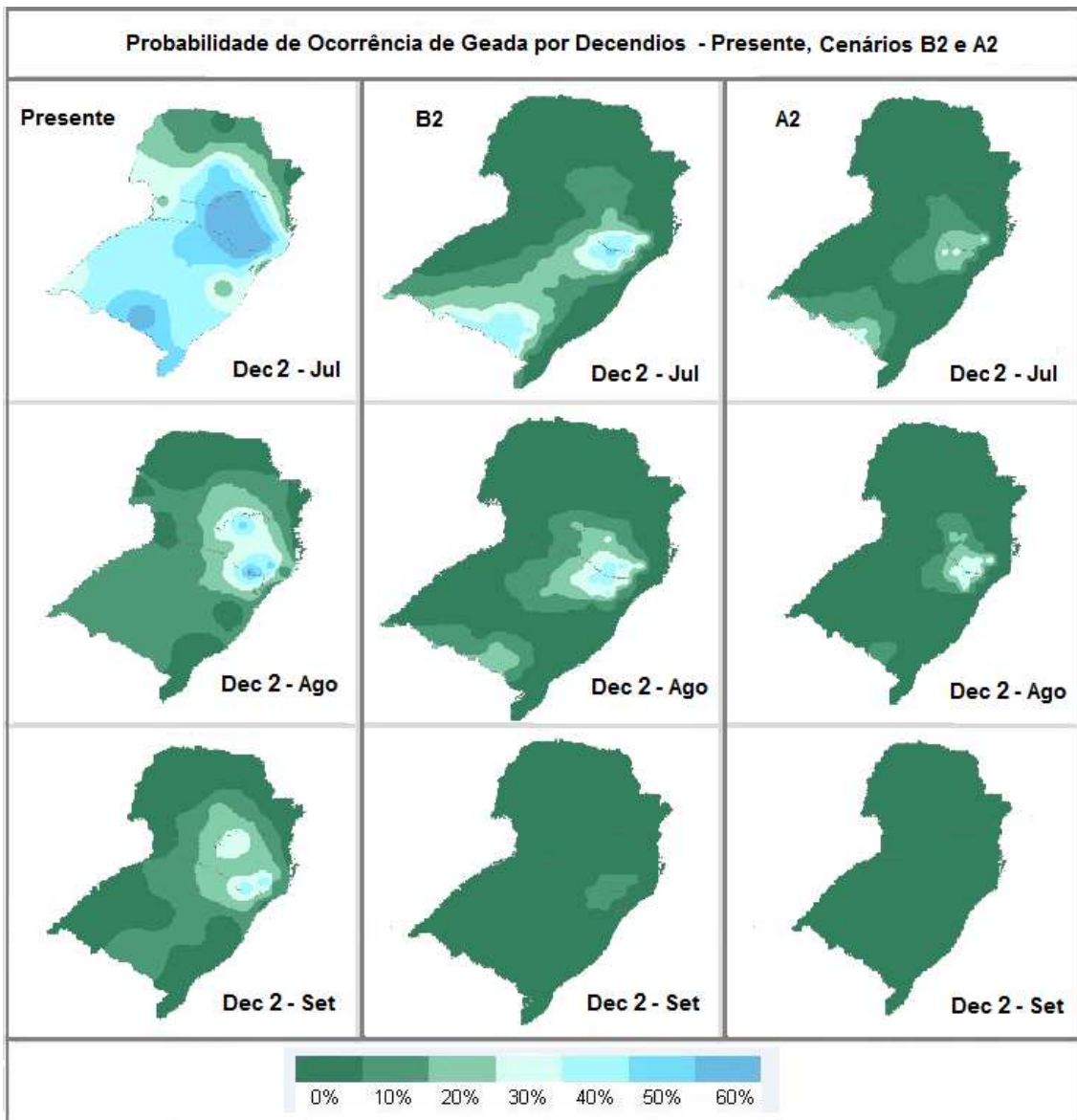


Figura 4.55 – Idem à Figura 4.54, porém para o decêndio 2.

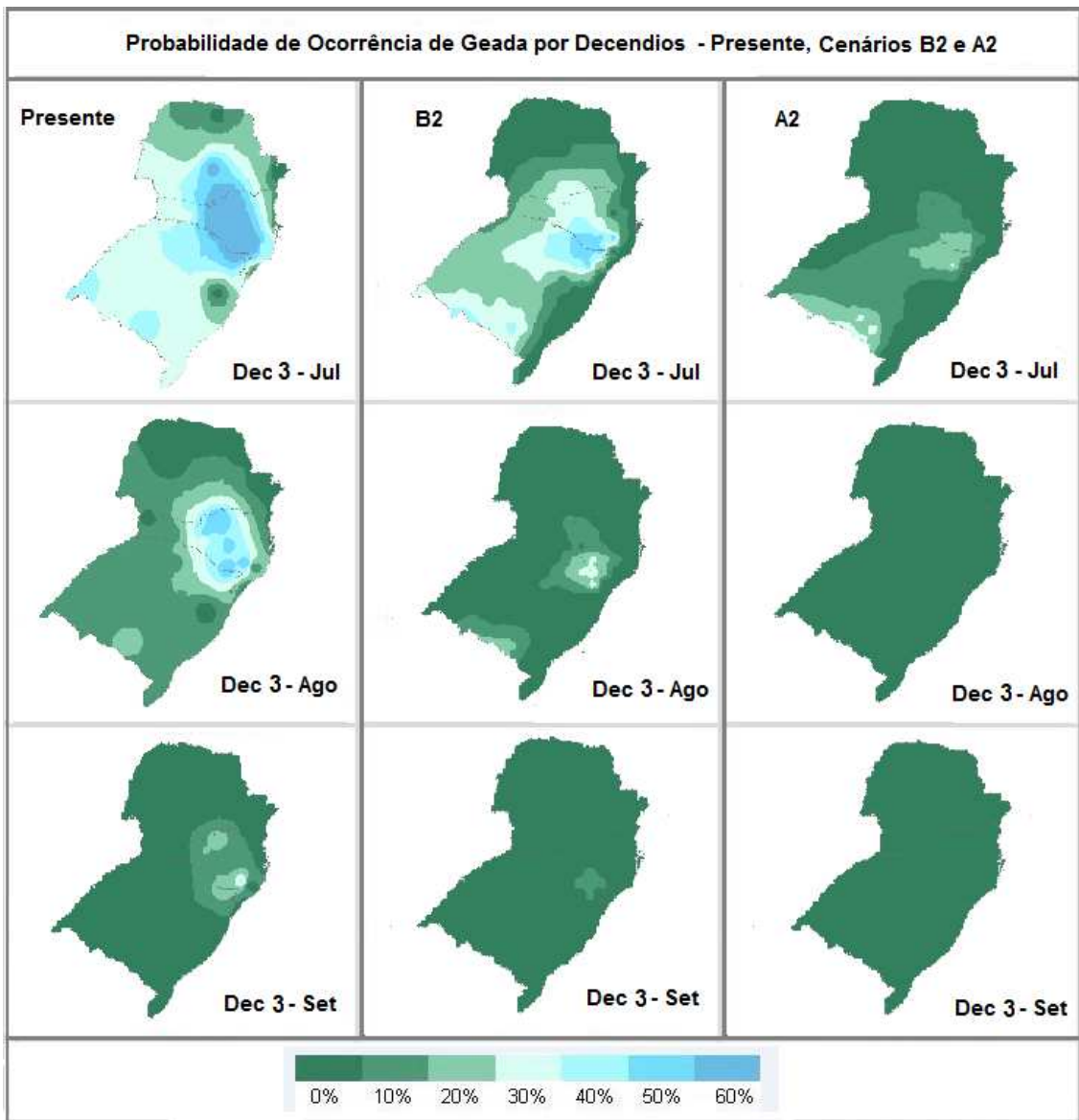


Figura 4.56 – Idem à Figura 4.54, porém para o decêndio 3.

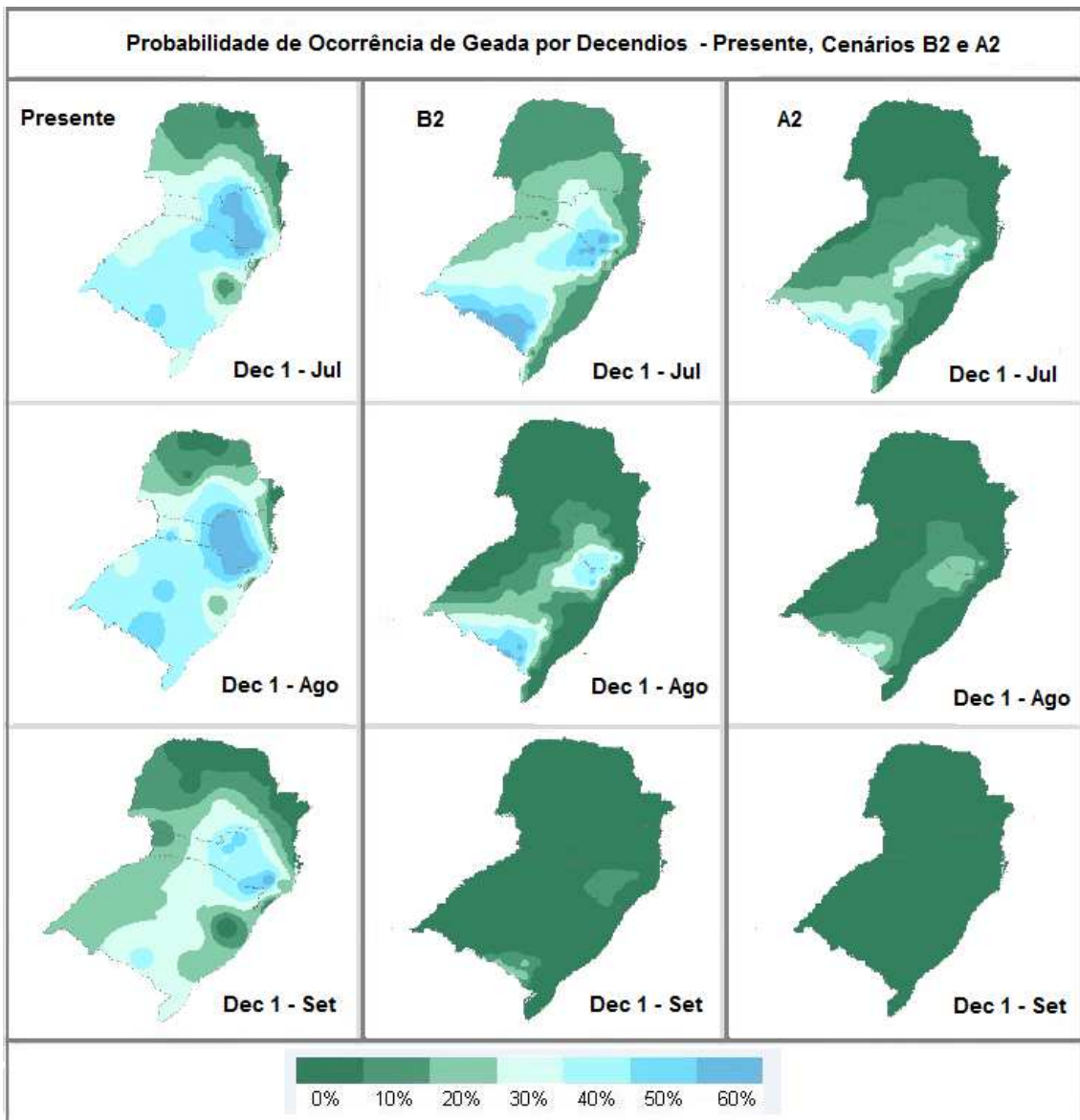


Figura 4.57 – Probabilidade de ocorrência de geadas para a Região Sul do Brasil, considerando temperaturas do ar inferiores a 3°C, para o clima atual e para os cenários A2 e B2. – Decêndio 1.

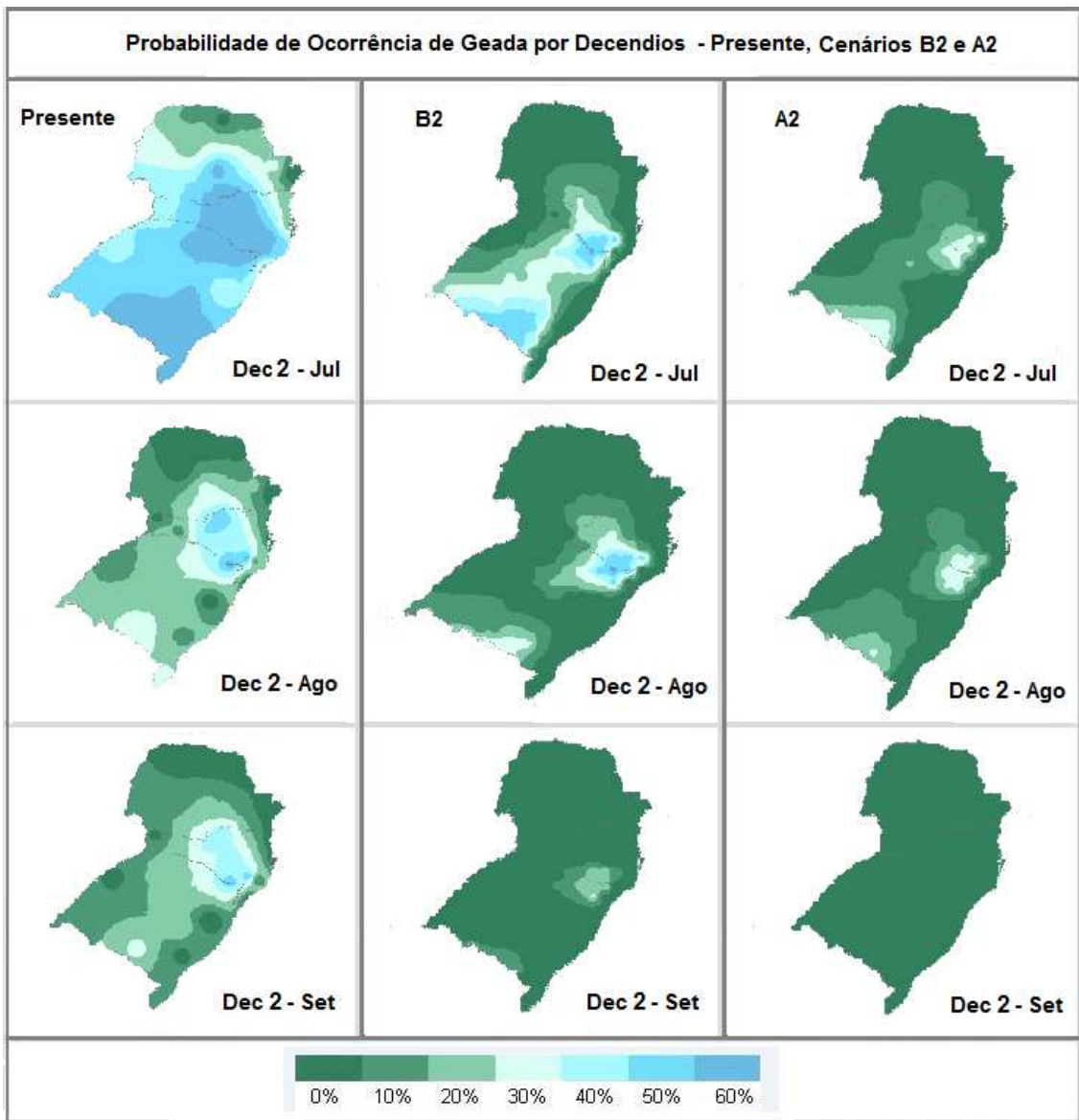


Figura 4.58 – Idem à Figura 4.57, porém para o decêndio 2.

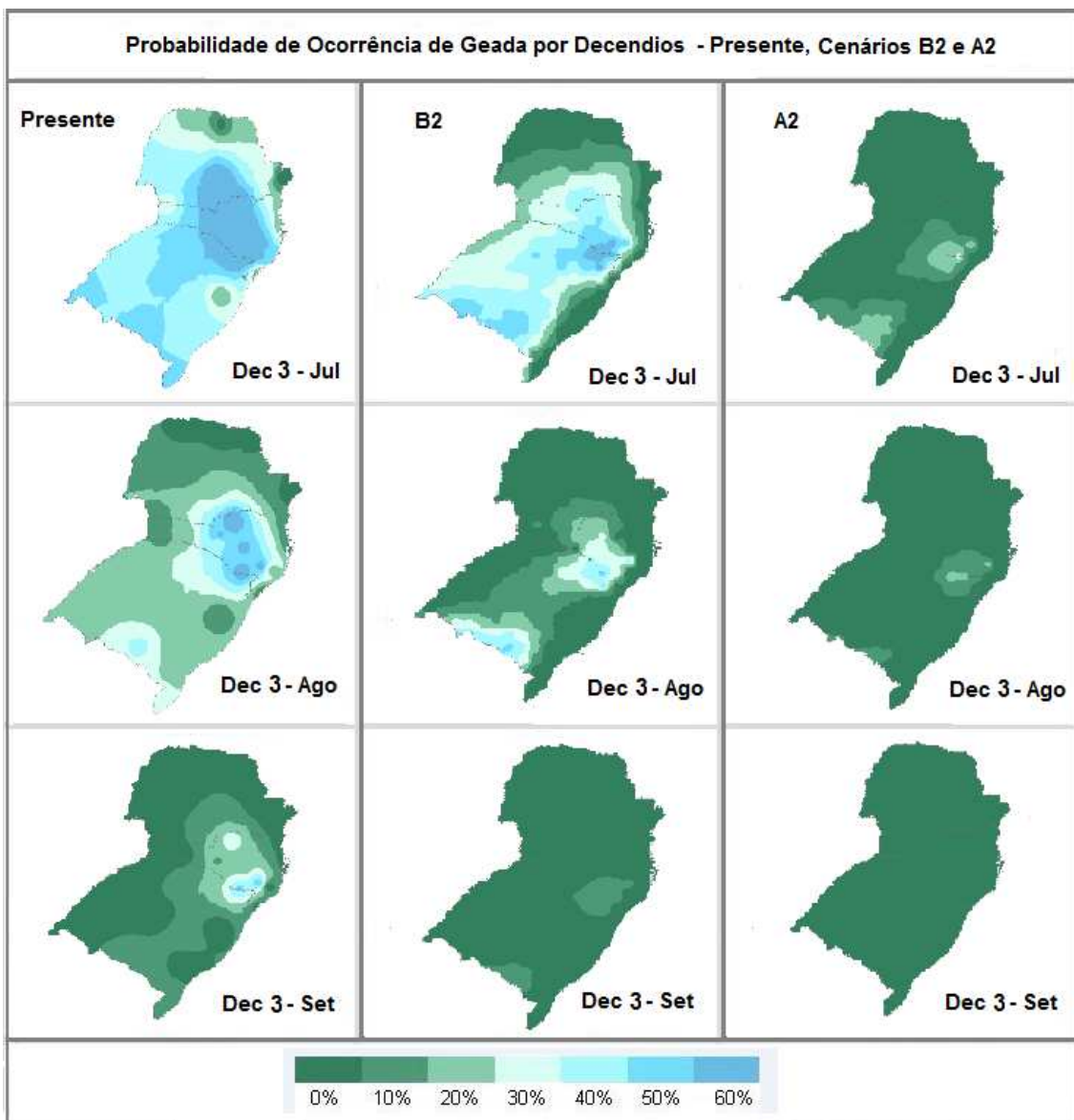


Figura 4.59 – Idem à Figura 4.57, porém para o decêndio 3.

4.3.2 ANÁLISE DO NÚMERO TOTAL DE HORAS DE FRIO ($T \leq 7,2^{\circ}\text{C}$) EM SANTA CATARINA

Foram gerados três cenários de horas de frio: um cenário atual (Figura 4.60), que levou em consideração o número total de horas de frio estimado por Massignam et al. (2007) e dois cenários futuros (A2 e B2), os quais consideraram os valores das temperaturas mínimas projetados pelo modelo regional HadRM3P para o período de 2071-2100.

O total de horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C, acumulados no período de abril a setembro para o cenário atual e para os cenários A2 e B2, pode ser observado na Tabela 4.7. Nota-se que todos os locais apresentaram anomalias negativas para os cenários A2 e B2, variando entre 190 e 300h. A anomalia foi calculada pela diferença entre o cenário atual e cada um dos cenários futuros (A2 e B2).

Tabela 4.7 - Total anual de horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C (abril e setembro) para o cenário atual e cenários futuros (2071-2100), A2 e B2.

Locais	Cenários			Anomalias	
	Atual	A2	B2	A2	B2
Água Doce	687	496	408	-191	-279
Bom Retiro	829	631	592	-199	-237
Campos Novos	642	349	269	-293	-374
São Joaquim	1087	852	805	-235	-282
Videira	450	214	143	-236	-307

Em anos mais quentes pode ocorrer um atraso na entrada da dormência, devido ao menor acúmulo de horas de frio; como consequência, ocorre o retardamento do início do amadurecimento pelo deslocamento das fases subsequentes à brotação (PANDOLFO, 2010). A antecipação da brotação pode ser desfavorável a alguns cultivares, devido ao fato de expor estes a maiores riscos de geadas tardias.

Através da análise efetuada, foi possível observar uma redução do número total de horas de frio em torno de 200 a 300 horas em quase todo o Estado Catarinense, no período de abril a setembro (Figuras 4.61 e 4.62). Em ambos os cenários, A2 e B2, a disponibilidade de horas de frio será menor, restrita apenas às localidades mais altas do planalto sul catarinense (disponibilidade máxima de 1000h). Nesta condição, a maioria das regiões catarinenses restringe-se a uma variação entre 250 e 500 horas de frio. A maior redução de áreas em relação ao cenário atual de horas de frio ocorrerá no extremo-oeste Catarinense e nas regiões serranas.

O impacto na redução de horas de frio foi um pouco maior no cenário A2, cenário no qual o aumento da temperatura do ar será mais drástico em todo o Estado de Santa Catarina (Figura 4.61). Mesmo sendo mais otimista, o cenário B2 também reduzirá a disponibilidade de horas de frio, com máximo nas regiões mais altas do Planalto Sul (São Joaquim), o que torna as demais regiões inaptas a determinados cultivares.

A grande maioria de cultivares de pessegueiro e nectarineira, em regiões de clima temperado, requer de 600 a 1000 horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C, para manter um nível de produtividade adequado. Desta forma, a redução de horas de frio nos cenários A2 e B2 teria um grande impacto na área potencial destes cultivares, considerando que as áreas aptas reduzir-se-ão a menos de 1% da área disponível pela climatologia de HF.

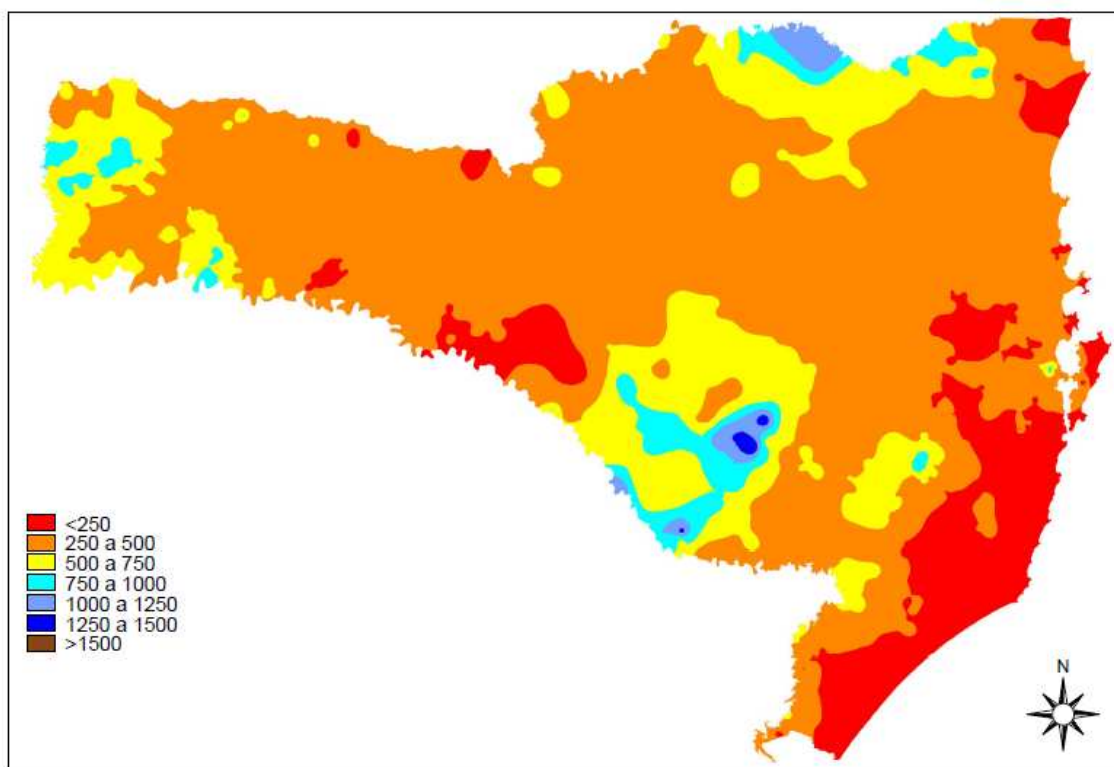


Figura 4.60 – Cenário atual do total de horas de frio abaixo ou igual a 7,2°C, considerando o período de abril a setembro, para o Estado de Santa Catarina.

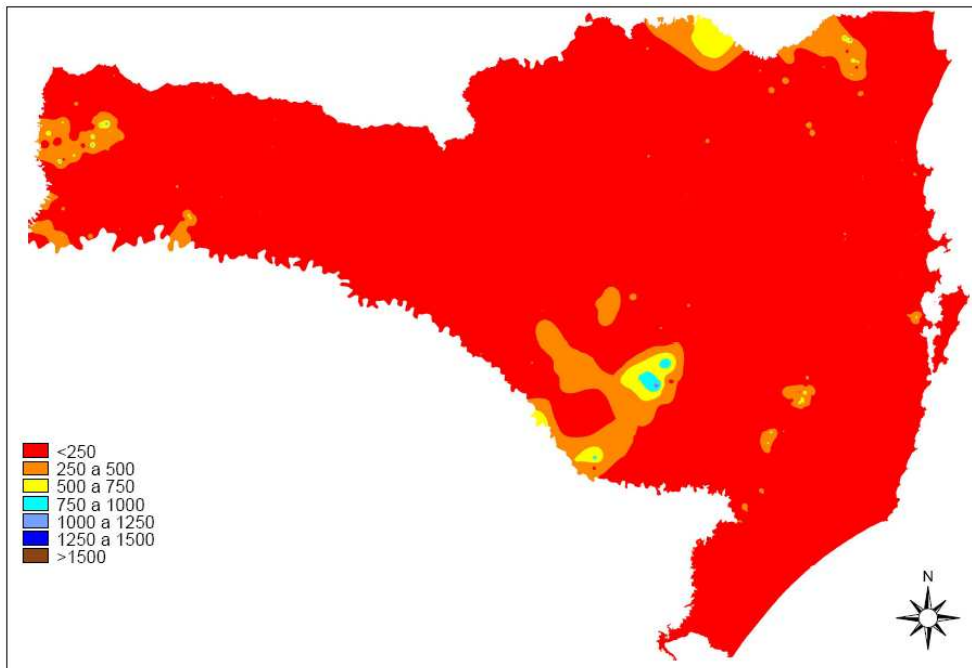


Figura 4.61 – Idem à Figura 4.60, porém para o cenário A2 do HadRM3P.

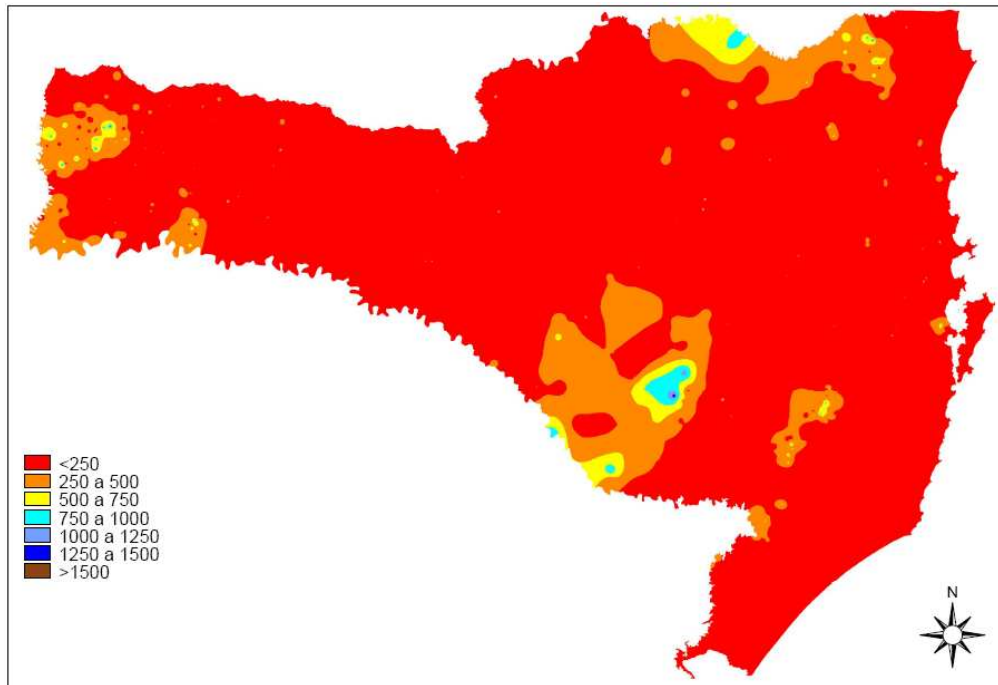


Figura 4.62 – Idem à Figura 4.60, porém para o cenário B2 do HadRM3P.

4.3.3 IMPACTO DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO PÊSSEGO E DA NECTARINA.

Para a análise do impacto que as alterações climáticas causariam na área potencial de cultivo do pêsego e da nectarina, no Estado de Santa Catarina, foram gerados três cenários de zoneamento agrícola: cenários atual, A2 e B2. O cenário atual foi gerado com base na climatologia do Atlas Digital do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO et al., 2002), nas equações de estimativa do total de horas de frio menor ou igual a 7,2°C (MASSIGNAM et al., 2007) e nas equações de estimativas de temperaturas mínima, máxima e média para o Estado de Santa Catarina com base decendial (MASSIGNAM; PANDOLFO, 2006). Os cenários futuros foram gerados com base nas projeções de temperatura do ar (máxima, média e mínima) do modelo climático regional HadRM3P, em função de dois diferentes cenários de emissões de gases, A2 e B2 (2071-2100), conforme descrito na metodologia. O ZonExpert 1.0 (PANDOLFO et al., 1999) foi utilizado para a elaboração dos três cenários que geraram o zoneamento agrícola para o pêsego e a nectarina, tendo as classes sido definidas de acordo com os critérios estabelecidos na metodologia.

O cenário atual para o zoneamento do pêsego e da nectarina, em Santa Catarina, para baixa exigência, definiu 139 municípios na classe *preferencial* e 67 na classe *tolerado* ao plantio (Figura 4.63), enquanto que para alta exigência são 94 na classe *preferencial* e 25 municípios na classe *tolerado* ao plantio (Figura 4.64).

De acordo com os resultados obtidos, os cenários atuais apresentaram um número considerável de municípios aptos ao plantio do pêsego e da nectarina, especialmente para baixa exigência. A diferença ocorre em função do nível de exigência, que por sua vez irá variar em função do número total de Horas de Frio.

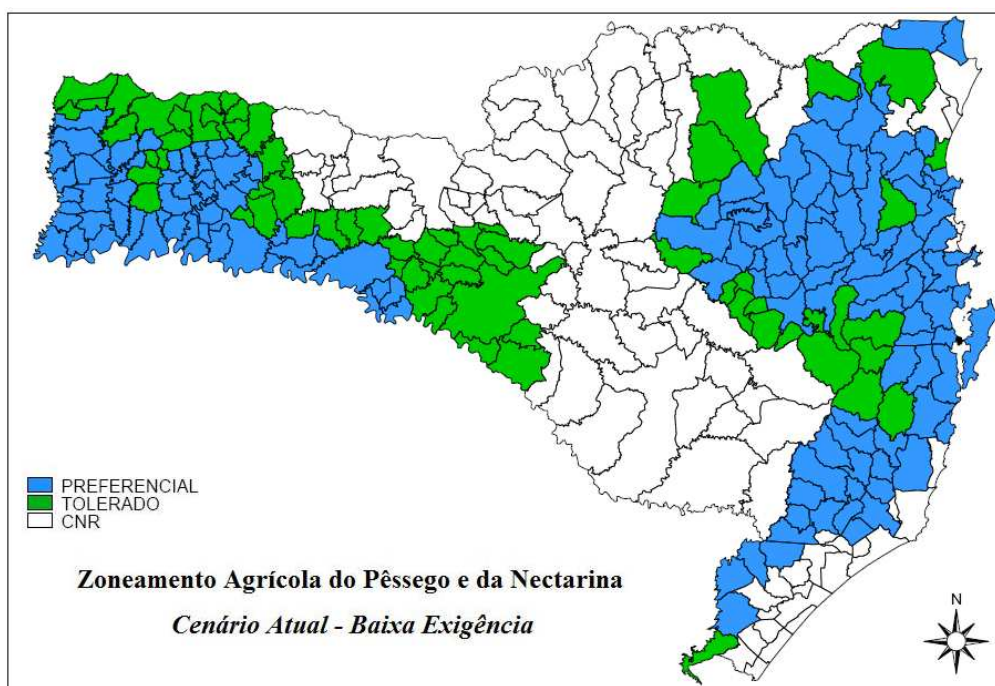


Figura 4.63 – Cenário atual do Zoneamento para a cultura de pêssego e de Nectarina, em Santa Catarina – Baixa Exigência. CNR significa *cultivar não recomendado*.

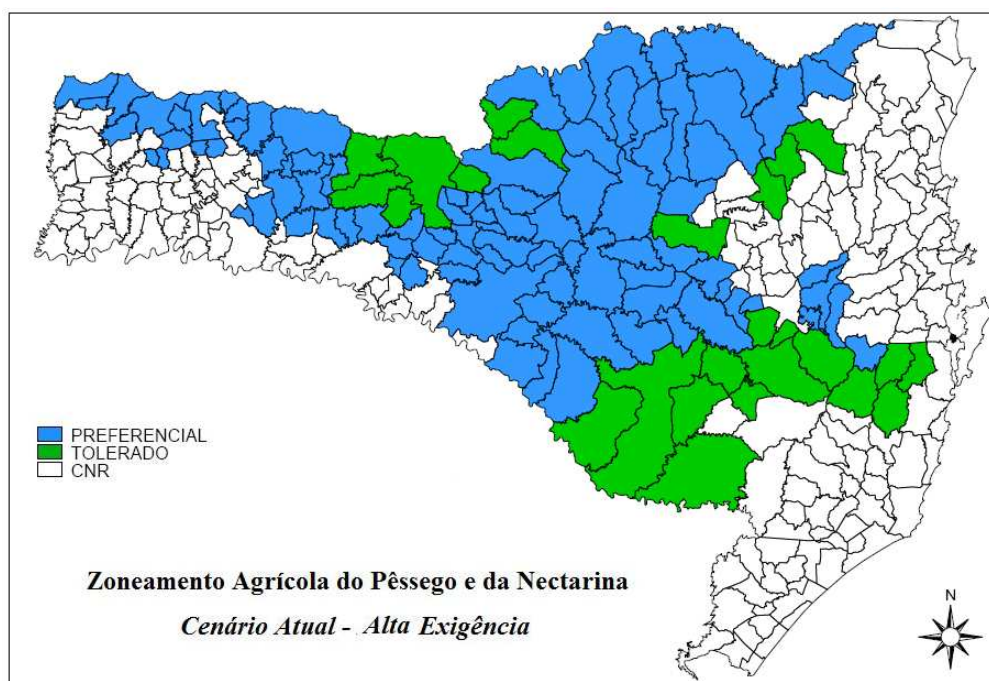


Figura 4.64 – Idem à Figura 4.63, porém para Alta Exigência

Ao inferir no zoneamento as condições climáticas futuras do cenário A2, o mais drástico, constatou-se que tanto para a alta exigência como para a baixa exigência, o número de municípios antes classificados com plantio tolerado e preferencial foi amplamente reduzido, passando a serem classificados como cultivo não recomendado (Figuras 4.65). No critério de alta exigência, apenas 7 municípios estarão aptos ao cultivo do pêssego e da nectarina, dentro da classe preferencial (Tabela 4.8), cuja redução é da ordem de 76% em relação ao cenário atual. Considerando como referência o valor bruto da produção Catarinense de pêssego no ano de 2008 (Tabela 1.1), a diminuição de localidades aptas ao plantio representaria uma redução superior a 20.000 mil reais no valor bruto da produção.

O zoneamento agrícola para o cenário B2 limita um número maior de municípios classificados como preferenciais e tolerados ao cultivo (Figura 4.66), com conseqüente redução da área potencial de plantio recomendado e tolerado. No caso de baixa exigência, houve um deslocamento das áreas aptas, com alguns municípios antes não recomendados passando a serem aptos ao plantio, em especial na classe preferencial (sem restrições). Neste caso, as perdas econômicas seriam menores em relação ao cenário A2, porém muito expressivas, superiores a 60% de redução da área de produção (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Reduções das áreas potenciais de plantio do pêssego e da nectarina decorrentes de aplicação dos cenários A2 e B2 em relação ao cenário atual.

Nível de Exigência	Cenários		
	Atual (Municípios)	A2 (%)	B2 (%)
Baixa exigência - Preferencial	139	79	59
Baixa exigência - Tolerado	67	94	90
Alta exigência - Preferencial	94	93	81
Alta exigência - Tolerado	25	100	100

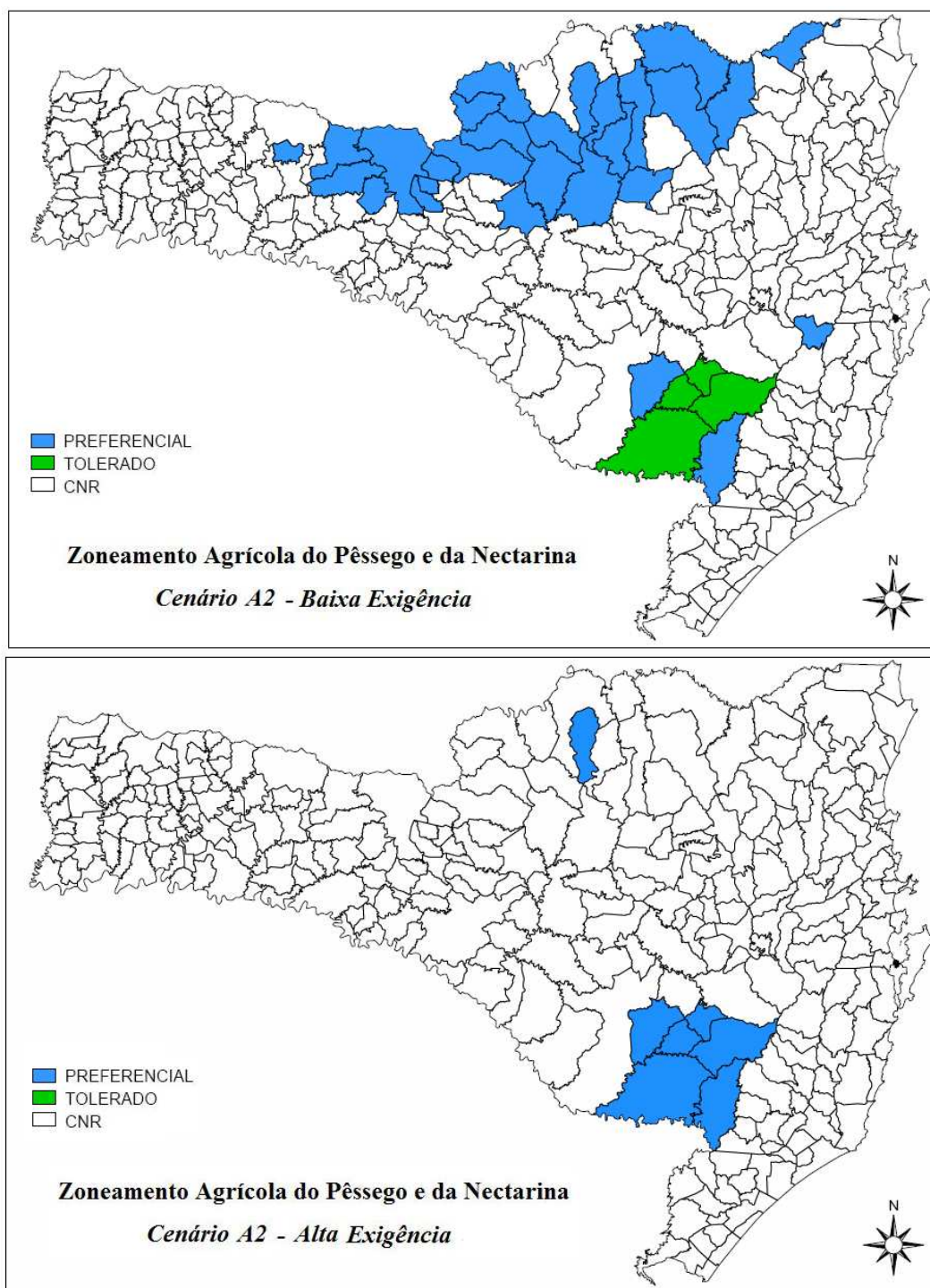


Figura 4.65 – Zoneamento para a cultura de pêsego e de Nectarina, em Santa Catarina – para o cenário A2 – Baixa (a) e Alta (b) Exigência. CNR significa *cultivar não recomendado*.

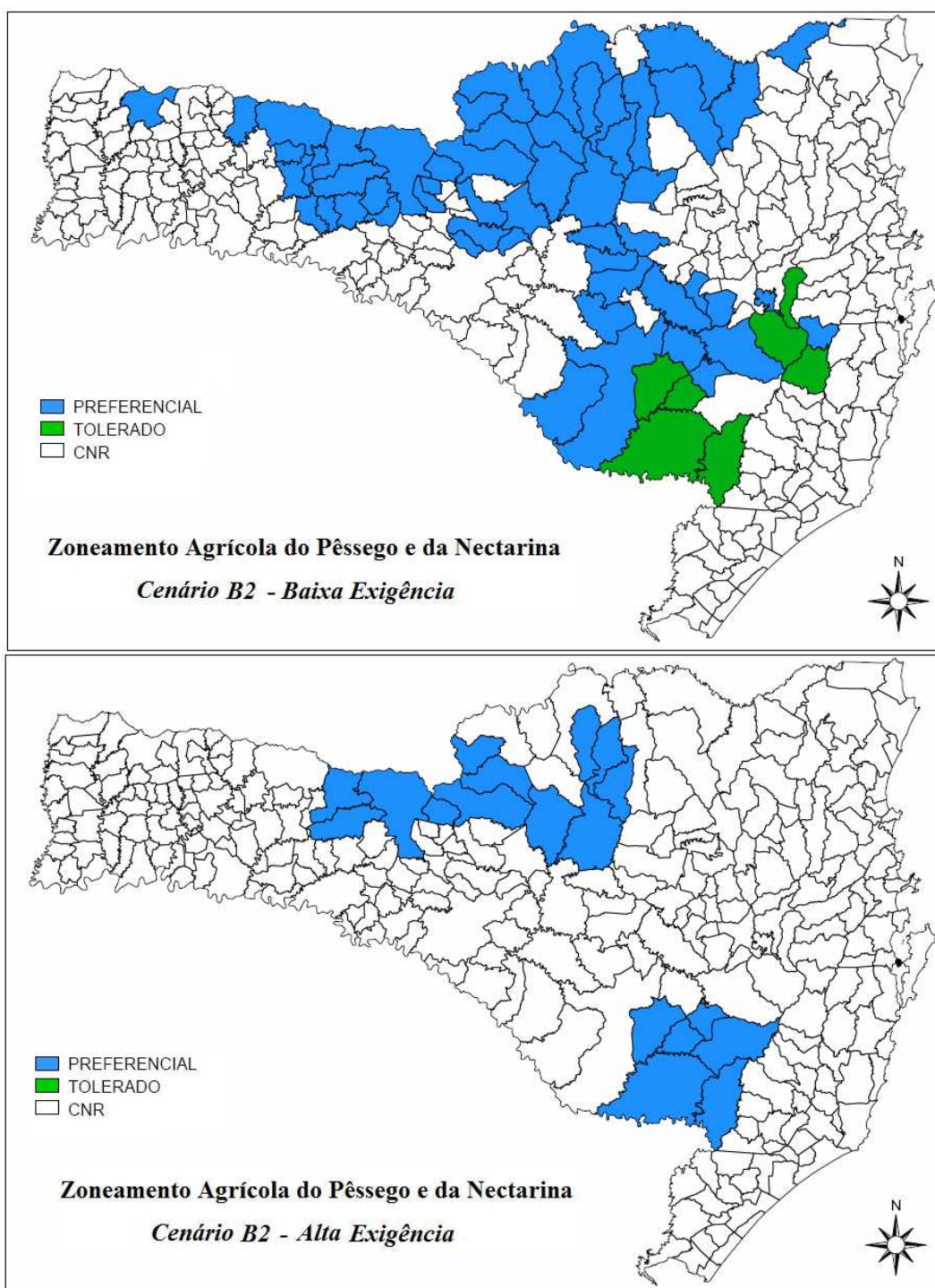


Figura 4.66 – Zoneamento para a cultura de pêsego e de nectarina, em Santa Catarina – para o cenário B2 – Baixa (a) e Alta (b) Exigência. CNR significa *cultivar não recomendado*.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 SÍNTESE E CONCLUSÕES

No presente estudo analisaram-se os principais padrões climáticos presente e futuro da Região Sul do Brasil e seus principais impactos nos cultivos de pêssigo e de nectarina. Para tal, foram utilizadas duas bases de dados: dados diários de estações meteorológicas localizadas nos Estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, do período de 1961-2008, e dados diários simulados pelo modelo regional HadRM3P, para o clima presente (1961-1990) e projetados para o clima futuro (2071-2100), tendo como base dois diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa, A2 e B2. Para ambas as séries, o período de 1961-1990 foi utilizado como referência.

Na primeira etapa do estudo, realizou-se uma detalhada análise de consistência dos valores diários de temperatura do ar, máxima, média e mínima. Considerando uma base confiável e homogênea, foi possível a caracterização de padrões atuais de temperatura do ar da Região Sul do Brasil. Primeiramente, foram analisados os padrões sazonais e mensais de temperatura do ar, cujos resultados mostraram claramente o efeito latitudinal, longitudinal e das diferentes altitudes. O Estado de Santa Catarina destaca-se pelo relevo acentuado e com altitudes contrastantes, especialmente entre a zona costeira e o planalto, onde são registradas as maiores amplitudes térmicas diárias.

Os valores médios anuais de temperatura do ar mais baixos são verificados no planalto catarinense (13,3°C – São Joaquim) e na região nordeste rio-grandense (14,7°C - Bom Jesus). Por outro lado, o norte do Paraná (22,2°C em Paranavaí) e o interior do Rio Grande do Sul (20,2°C – São Luiz Gonzaga) destacaram-se pelos valores mais elevados de temperatura do ar média anual.

De modo geral, a Região Sul do Brasil apresentou as quatro estações do ano bem definidas: um Verão relativamente quente e um Inverno frio. As estações de transição, Outono e Primavera apresentaram temperaturas amenas, registrando uma maior amplitude térmica diária. Porém, observou-se que a ocorrência de extremos de temperatura do ar tem sido mais freqüentes nos últimos anos, o que tem propiciado condições climáticas adversas aos padrões regionais de temperatura do ar como, por exemplo, invernos mais quentes que o normal, intercalados por extremos mínimos de temperatura do ar que poderão superar recordes. Entre as estações intermediárias, o Outono caracteriza-se por um padrão mais quente que a primavera, com valores mais elevados de temperatura do ar. Em decorrência disso, março e abril são meses quentes e menos chuvosos, com predomínio de poucas nuvens, o que favorece a temperaturas mais elevadas.

Com as análises das temperaturas máximas e mínimas em relação ao período de 1961-1990, observou-se que além da temperatura mínima do ar estar aumentando, nos últimos anos, em especial na última década, a temperatura máxima do ar também tem sido mais elevada que o normal. Conseqüentemente, a amplitude térmica tem respondido positivamente ao aumento de ambas as temperaturas do ar. É claro e notável o contraste entre as amplitudes negativas da década de 90 e as amplitudes positivas da última década.

Observou-se também no presente estudo que, embora tenha sido detectado no presente um aumento das temperaturas máximas e mínimas, os meses de junho e julho continuam sendo os mais frios da Região Sul do Brasil e dias com temperaturas inferiores a 0°C são registrados com freqüência nos últimos anos, mesmo com o aquecimento observado. Isto mostra que o número de dias com temperaturas inferiores 0°C não está diminuindo, embora, na média os valores da temperatura mínima estejam aumentando. De modo geral, os resultados indicam que mesmo com a temperatura do ar aumentando com o passar dos anos, frios extremos (temperaturas muito baixas) continuam sendo registrados, porém com uma distribuição maior entre um evento e outro.

A influência de fenômenos de grande escala como, por exemplo, o El Niño e a La Niña, foram claramente percebidos nas análises das temperaturas máximas e mínimas. Em anos de El Niño, as temperaturas do ar na Região Sul do Brasil ficaram mais elevadas, com valores acima dos padrões médios, enquanto que os extremos de temperatura mínima foram reduzidos.

Portanto, na primeira parte do estudo, ficou caracterizado como o clima da Região Sul do Brasil tem-se portado, incluindo seus padrões médios atuais e sua variabilidade ao longo dos anos. Porém, o grande questionamento é se as tendências de aumento de temperatura do ar, observadas no presente, confirmar-se-iam em projeção para o futuro (2071-2100).

Ao analisar os dados projetados pelo modelo regional HadRM3P observou-se que para ambos os cenários de emissões de gases de efeito estufa (A2 e B2), as temperaturas média, máxima e mínima do ar serão mais quentes no futuro da Região Sul do Brasil, com anomalias maiores no Paraná e aumento mais ameno nas latitudes mais altas do Rio Grande do Sul e litoral da Região Sul. Destaca-se que o modelo HadRM3P apresentou uma boa representação do clima presente da Região Sul do Brasil, simulando o ciclo anual de temperatura do ar de forma semelhante ao ciclo observado. Porém, ressalta-se que ainda existem muitas incertezas em *quantificar* as alterações futuras do clima. Por mais que a modelagem climática tenha avançado com o passar dos anos, ainda existem limitações, uma vez que representam apenas uma simplificação da realidade, por mais complexo que sejam os modelos climáticos.

Sazonalmente, os dois cenários também apontaram para um aquecimento na Região Sul do Brasil, variando de acordo com a época do ano. O Verão e a Primavera foram as estações que sofrerão maior impacto, tanto no cenário A2 quanto para o B2 do HadRM3P, com aumento máximo de temperatura do ar chegando a 5,8°C (cenário A2). Segundo os resultados, a Primavera destacou-se em todas as análises pelas elevadas anomalias de temperatura do ar, sendo o mês de setembro responsável por grande parte deste aumento, em ambos os cenários.

Detectado o aumento atual da temperatura do ar e o aquecimento projetado para o clima futuro, avaliou-se qual seria o impacto destes aumentos para os cultivos de pêsego e de nectarina no Estado de Santa Catarina.

Com o aumento da temperatura do ar, a probabilidade de ocorrência de geada seria menor em praticamente todas as localidades da Região Sul do Brasil, diminuindo desta forma os riscos de geada e favorecendo o desenvolvimento dos pessegueiros e das nectarineiras nas fases de inchamento das gemas, na floração e na primeira fase de desenvolvimento do fruto. Estes resultados devem-se, em especial, ao aquecimento observado nos meses de julho a setembro para o clima futuro (2071-2100).

Porém, por outro lado, assim como o aumento da temperatura do ar diminui os riscos de geada, este mesmo aumento restringe as áreas aptas ao plantio, em decorrência da diminuição do número total de horas de frio inferiores ou iguais a $7,2^{\circ}\text{C}$, critério importante para o período de dormência. Neste período, as gemas floríferas e vegetativas, para completar sua formação devem passar por um repouso, o que convencionalmente é medido pelo número de horas de frio inferiores ou iguais a $7,2^{\circ}\text{C}$. É importante que no transcurso do inverno haja frio suficiente para que tais gemas tenham suas necessidades satisfatoriamente atendidas.

Estes dois importantes critérios de adaptação do pêsego e da nectarina (riscos de geada e número total de horas de frio) foram combinados, juntamente com outras informações relativas a fenologia, ciclo, cultivares, tipo de solo, entre outras, com o intuito de excluir regiões de riscos climáticos para estes cultivares, através do zoneamento agroclimático para o Estado de Santa Catarina. Os resultados mostraram uma redução das áreas aptas ao plantio de pêsego e de nectarina, com resultados mais drásticos ao inferir as projeções do cenário A2, para o qual o Estado catarinense restringe-se a apenas 7 (sete) municípios com indicação preferencial, ou seja, sem restrições ao plantio.

5.2 – Sugestões para Estudos Futuros

Através do presente trabalho foi possível compreender melhor os padrões climáticos da temperatura do ar para o clima presente e futuro da Região Sul do Brasil, assim como os impactos que as projeções futuras teriam nos cultivos de pêssego e de nectarina. No entanto, a experiência adquirida com o trabalho, aliada aos resultados apresentados, permite fazer as seguintes sugestões:

- Relacionar estes resultados com outras variáveis, tais como a precipitação, contribuindo para uma melhor compreensão dos impactos causados pelas modificações climáticas em nível regional e de impactos futuros.
- Estender a análise para outras culturas importantes para a economia da Região Sul do Brasil, tanto da fruticultura como do cultivo de grãos (milho, soja, feijão...) e aplicar o zoneamento destas culturas considerando as peculiaridades de toda a região.
- Aplicar a mesma análise considerando cenários projetados por outros modelos regionais, tais como o *Eta CPTEC*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, P. **Guidelines on the quality control of surface climatological data.** World Climate Program. WMO/TD, n. 111, p. 1-6, 1984.
- AGROCONSULT. **Zoneamento de riscos climáticos da cultura do milho no Estado de Santa Catarina, referente ao ano-safra de 2009/2010.** Rio de Janeiro, 2009. Relatório Técnico.
- AGROCONSULT. **Zoneamento de riscos climáticos da cultura da videira americana e videira europeia, no Estado de Santa Catarina, referente ao ano agrícola de 2009/2010.** Rio de Janeiro, 2010. 10 p. Relatório Técnico.
- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; AMBENJE, P.; KUMAR, K. RUPA; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v.111, 22 p., 2006.
- ALVES, L. M. **Simulação da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional.** 2007. 98 p. (INPE-14825-TDI/1265). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/06.13.12.59>>. Acesso em: 24 nov. 2010.
- ASSAD, E.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil.** São Paulo: Embrapa/UNICAMP, 2008, 84 p.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.
- ASSIS, J. P. **Modelo estocástico para estimação da produtividade potencial de milho em Piracicaba-SP.** 2004. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- BATTISTI, D.S.; NAYLOR, R.L. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. **Science**, v. 323(5911), p.240–244, 2009.
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: FEDERAÇÃO DOS CLUBES DE INTEGRAÇÃO E TROCA DE EXPERIÊNCIA-FEDERACITEA. (Org.). **As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência?** 1. ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, 2005, p. 43-59.

BLAIN, G. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de são paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p.114-124, 2010.

BOSELLO, F.; ZHANG, J. **Assessing climate change impacts: agriculture**. Milan: Fondazione Eni Enrico Mattei, 2005 (Working Paper 2005.94).

BOTTON, M.; BAVARESCO, A.; GARCIA, M.S. Ocorrência de *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) danificando pêssegos na Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul. **Neotropical Entomology**, v.32, p.503-505, 2003.

BOUGEAULT, P. Physical parameterizations for limited area models: some current problems and issues. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 63, p. 71-88, 1997.

CAMARGO, C. G. C.; BRAGA, H.; ALVES, R. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 19, n.3, p. 31-35, nov. 2006.

CAMARGO, C.G.C. **Variabilidades e tendências climáticas dos extremos de temperatura do ar na Região Sul do Brasil**. 2004. 210 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

CARAMORI, P. H. ; CAVIGLIONE, J. H. ; WREGGE, M. S. ; HERTER, F. G. ; HAUAGGE, R. ; GONCALVES, S. L. ; CITADIN, E. ; RICCE, W. da S. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 1040-1044, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, relationships with intra-seasonal to inter-annual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**. v.17, p. 88-108, 2004.

CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA (Cepa). **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2009-2010**. Disponível em: http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/Sintese_2010/sintese%202010_inteira.pdf. Acesso em: 09/2010.

CHAMPAGNAT, P. Quelques réflexions sur la dormance des bourgeons des végétaux ligneux. **Physiologie Vegetale**, Paris, v.21, n.3, p.607-618, 1983.

CITADIN, I.; RASEIRA, M.C.B.; HERTER, F.G.; SILVA, J.B. Heat requirement for blooming and leafing in peach. **HortScience**, Alexandria, v.3, n.2, p.305-307, 2001.

CLIMATE RESEARCH UNIT. **Global temperature record**. Disponível em: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming>. Acesso em: 04/09/2009.

COBB, K. M.; CHARLES, C. D.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L. El Niño/Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. **Nature**. v. 424, p. 271-276, 2003.

COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A.; TOTTERDELL, I.J. Acceleration of global warming due to carbon_cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, v. 408, p.184-187, 2000.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **El Niño**: últimas ocorrências. Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml. Acesso em: 05/2010.

CRUZ, G.; CAMARGO, C.; MONTEIRO, M.; BRAGA, H.; PINTO, E.; Levantamento de horas de frio nas diferentes regiões de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.22, n. 1, p. 44-47, mar. 2009.

CUBASCH, U.; KASANG, D. Extremes and climate change. In: LOZÁN, J.L. et al. (Org). **Climate of the 21st century**: changes and risks. Hamburgo: Wissenschaftliche Auswertungen, 2001, 448p.

DEL REAL LABORDE, J.I. An apple flower bud bioassay to determine depth of rest. **Acta Horticulturae**, Hague, n.199, p.65- 70, 1987.

DENNIS, F.G. Temperate zone fruits in the tropics: problems and prospects. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.158, p.41-46, 1985.

DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M.; GIORGI, F.; BATES, G. T. A regional climate model for the western United States. **Climatic Change**, v. 15, p. 383-422, 1989.

DUCROQUET, J. P. Potencial de produção de frutos de caroço na Serra Catarinense. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO. 6., 2005, São Joaquim, SC. **Resumos...** São Joaquim: Epagri, 2005, p. 76-82. Tipo: FL (FOL 2773/96).

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Variabilidade Climática da Temperatura no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologica, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) – Centro Nacional de Pesquisa de Fruteiras de Clima Temperado. **A cultura do pessegueiro**. Pelotas: EMBRAPA/CNPFT, 1984. 156 p. (Circular Técnica, 10).

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Avaliação de cultivares para o Estado de Santa Catarina 2007/2008**. Florianópolis, 2007.156p. (Epagri. Boletim Técnico, 137).

EWERT, F.; ROUNSEVELL, M. D. A.; REGINSTER, I.; METZGER, M. J.; LEEMANS, R. Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.107, p.101-116, 2005.

FAO. FAOSTATS. **Crops production**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 10 maio 2010.

FERREIRA, A. G. Germinação em *Aeschynomene rudis* Benth. **Ciência e Cultura**, v.26, n.7, 1974.

GHINI, R.; HAMADA, E.; JUNIOR, M.; MARENGO, J.A.; GONÇALVES, R. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.2, p.187-194, fev. 2008.

GIESBERGER, G. **Climatic problems in growing deciduous fruit trees in the tropics and subtropics**. Tropical Abstracts, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 1-8, 1972.

GIORGI, F. On the simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. **Journal of Climatology**, v. 3, p. 941-963, 1990.

GIORGI, F., CHRISTENSEN, J., HULME, M., STORCH, H. VON, WHETTON, P., JONES, R., MEARNS, L., FU, C., ARRITT, R., BATES, B., BENESTAD, R., BOER, G., BUIHAND, A., CASTRO, M., CHEN, D., CRAMER, W., CRANE, R., CROSSLY, J., DEHN, M., DETHLOFF, K., DIPPNER, J., EMORI, S., FRANCISCO, R., FYFE, J., GERSTENGARBE, F., GUTOWSKI, W., GYALISTRAS, D., HANSSEN-BAUER, I., HANTEL, M., HASSELL, D., HEIMANN, D., JACK, C., JACOBET, J., KATO, H., KATZ, R., KAUKER, F., KNUTSON, T., LAL, M., LANDSEA, C., LAPRISE, R., LEUNG, L., LYNCH, A., MAY, W., MCGREGOR, J., MILLER, N., MURPHY, J., RIBALAYGUA, J., RINKE, A., RUMMUKAINEN, M., SEMAZZI, F., WALSH, K., WERNER, P., WIDMANN, M., WILBY, R., WILD, M., XUE, Y. **Regional climate information-** evaluation and projections, climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T. et al. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 881 p., 2001.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R. Validation of a regional atmospheric model over Europe: Sensitivity of wintertime and summertime simulations to selected physics parameterizations and lower boundary conditions. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 117, p. 1171-1206, 1991.

GIORGI, F.; SHIELDS, C. Tests of precipitation parameterizations available in latest version of NCAR regional climate model (RegCM) over continental United States. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 6353-6375, 1999.

GONÇALVES, M.F.; SEMEGHINI U.C. Uma metrópole singular. In: FONSECA, R.B.; Davanzo, A.M.Q.; Negreiros, R.M.C. (Org) **Livro verde: desafios para a gestão da Região Metropolitana de Campinas**. Campinas,SP: UNICAMP.IE, 2002. 498p.

GROISMAN, P.; KNIGHT, R.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEV, V. Trends in tense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1326-1350, 2005.

HAMADA, E.; GHINI, R.; PEDRO JÚNIOR, M.J. et al. Efeito de mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial do número provável de gerações do bicho-mineiro do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: SBA: Unicamp, 2005. CD ROOM.

HAYLOCK, M. R.; CAWLEY, G. C.; HARPHAM, C.; WILBY, R. L.; and GOODESS, C. Downscaling heavy precipitation over the UK: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios, **International Journal Climatology**, v.26, p.1397–1415, 2006.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T.; ABREU DE SOUSA, J. R.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BAEZ, J.; BARBOSA DE BRITO, J. I.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; JAILDO DOS ANJOS, R.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MEIRA, P. R.; MIRANDA, G. C.; MOLION, L.; MUNCUNIL, D. F.; NECHET, D.; ONTANEDA, G.; QUINTANA, J.; RAMIREZ, E.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; VARILLAS, I. T.; VINCENT, L.; and YUMIKO, M. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2005.

HERTER, F.G.; SACHS, S.; FLORES, S.A. Condições edafoclimáticas para instalação do pomar. In: MEDEIROS, C.A.B.; RASEIRA, M do C.B. (Eds). **A cultura do pessegueiro**. Brasília: EMBRAPA, p.20-28, 1998.

HERTER, F.G.; WREGE, M.S.; RASEIRA, M.C.B.; STEINMETZ, S. **Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 21 p. Embrapa Clima Temperado. Documentos, 91.

HOUGHTON, J. **Global warming: the complete briefing**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, 251 p.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DA, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. **Climate change 2001: the IPCC scientific assessment**. Cambridge: University Press, 2001.

HUDSON, D. A.; JONES, R. G. **Regional climate model simulations of present-day and future climates of southern Africa**. Bracknell, U.K.: Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, , 41 p., 2002. Hadley Centre Technical Note 39.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **IAPAR mostra novas variedades de feijão no Show Rural**. Disponível em <http://www.iapar.br/modules/noticias/article.php?storyid=860>. Acesso em: 11/2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. prognóstico da produção agrícola - culturas permanentes. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11/2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Summary for policymakers**: contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. This Summary for Policymakers was formally approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC, Paris, February, 1996 p., 2007.

INSTITUT NATIONAL DE VULGARISATION POUR LES FRUITS LEGUMES ET CHAMPIGNONS (INVUFLEC). **La qualité des pêches**, Paris, 1975. 53p.

ITO, A.; OIKAWA, T. A model analysis of the relationship between climate perturbations and carbon budget anomalies in global terrestrial ecosystems: 1970-1997, **Climate Research**, v.12, p.161-183, 2000.

JONES R.; MURPHY J.M.; HASSELL D.C.; WOODAGE M.J. **A high resolution atmospheric GCM for the generation of regional climate scenarios**. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, Technical Note 63, 2005.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS**. Exeter, Uk: Met Office Hadley Centre, April, 2004, 40p.

KALNAY, E.; CAI, M. Impacts of urbanization and land-use change on climate. **Nature**, v. 423, p. 528-531, 2003.

KATO, H.; HIRAKUCHI, H.; NISCHIZAWA, K.; GIORGI, F. Performance of NCAR RegCM in the simulation of june and january climates over eastern Asia and the high-resolution effect of the model. **Journal of Geophysical Research**, v.104 (D6), p. 6455-6476,1999.

KATZ, R. W.; BROWN, B. Extreme events in a changing climate: variability is more important than average. **Climate Change**, v. 21, p.289-302, 1992.

LICHOU, J.; FOURNIER, P. Le comportement en zone tropicale d'altitude: observations et remarques faites à la Réunion. **Fruits**, Paris, v. 36, n. 1, p. 43-46, 1981.

LIMA, M.; ALVES, B. J. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas**, v.13, n.27, p. 73-110, 2008.

LIU, Y.; GIORGI, F.; WASHINGTON, W. M. Simulation of summer monsoon climate over east Asia with an NCAR Regional Climate Model. **Monthly weather review**, v. 122, p. 2331-2348, 1994.

LUO, Q.; BELLOTI, W.; WILLIAMS, M.; BRYAN, B. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.132, p. 273-285, 2005.

LYON, B. Enhanced seasonal rainfall in northern Venezuela and the extreme events of December 1999. **Journal Climate**.v.16, p. 2302-2306, 2003.

MACHADO, Ludmila Nascimento. **Estimativa dos impactos gerados pelas mudanças Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 2009. 63 f. : il. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, 2009.

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, p 1-18, 2001a.

MARENGO, J. A. Impactos das condições climáticas e da variabilidade e Mudanças do Clima sobre a produção e os Preços Agrícolas: Ondas de frio e seu impacto sobre a Cafeicultura nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: LIMA, Magda Aparecida de Lima; CABRAL, Oswaldo Machado Rodrigues; MIGUEZ, José Domingos Gonzalez (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira: seção I - Vulnerabilidade da Agricultura Brasileira à Mudanças do Clima**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001b. p. 97-123. ISBN 85-85771-13-5. (INPE-10226-PRE/5747).

MARENGO, J. A. Boletim do projeto: uso de cenários de mudanças climáticas regionais em estudo de vulnerabilidade e adaptação no Brasil e na América do Sul (GOF-UK-CPTEC). **News Letter**, Ano 2, Abril, 2007. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Newsletter_No4_Port.pdf. Acesso em: 08/2009.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. ; ROCHA, R. P. ; ALVES, L.M. ; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M.C. ; TORRES, R.R. ; SANTOS, D.C. ; FERRAZ, S. E. T. . Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2009a.

MARENGO, J.A.;CAMARGO, C.G. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**, v.28, p. 893-904, 2007.

MARENGO, J. A.; DIAS, P. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (eds.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, p.63-109, 2006.

MARENGO J. A.; JONES R.; ALVES L.; VALVERDE M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal Climatology**. Published online in Wiley InterScience. 2009b doi:10.1002/joc.1863. Disponível em: (<http://www.interscience.wiley.com>)

MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V. ; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; SAULO, A. C., AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E., SETH, A.; ALVES, L. M. Recent developments on the South American Monsoon System. **International Journal of Climatology**, Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2254, 2010.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; TOMASELLA J.; OYAMA M.; SAMPAIO, G., OLIVEIRA, R., CAMARGO, H.; ALVES, L.; BROWN, I. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, p.495-516, 2008a.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.; TOMASELLA, J.; CARDOSO, M.F.; OYAMA, M.D. Hydro-climatic: and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. **Biological Sciences**, v.21, p.1-6, 2008b.

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. **Estimativa das médias das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar decendiais e anuais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006 (Documento 224).

MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; PINTO, E. S. P. Espacialização das probabilidades do total anual de horas de frio em Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 58-61, jul. 2007.

MEDEIROS, C.A.B.; RASEIRA, M.C.B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: EmbrapaSPI, 1998. 350p.

MEEHL, G. A. et al. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge. United Kingdom: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

MENDELSON, R. **The impacts of climate change**. what do impacts tell us about near term economic policy? In: GLOBAL WARMING: LOOKING BEYOND KYOTO

CONFERENCE, 2005, Yale. **Proceedings...** New Haven, Connecticut: Center for the Study of Globalization, Oct.2005.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; de VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRÜBLER, A.; JUNG, T.Y.; KRAM, T.; La ROVERE, E.L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H.-H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI Z. **IPCC special report on emissions scenarios**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 599p.

NIENOW, A.A.; FLOSS, L.G. Floração de pessegueiros e necatrineiras no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, influenciada pelas condições meteorológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p.931-936, 2002.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F. Mudanças climáticas e amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, p. 22-27, 2007.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F. Cenários de Mudança Climática para a America do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, v.13, n.27, p. 19-42, 2008.

NUÑEZ M.N.; SOLMAN, S.A.; CABRÉ, M.F. Regional climate change experiments over southern South America. II: climate Change scenarios in the late twenty-first century. **Climate Dynamics**. Dóí 10.1007/s00382-008-0449-8.

PANDOLFO, C. Análise de tendência dos índices agrometeorológicos da *Vitis vinifera* L. em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, 2010.

PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; CAMARGO, C.; MASSIGNAM, A. M.; PINTO, E. S. P.; LIMA, M.; MILANEZ, J. M. Estimativas dos impactos das mudanças climáticas nos zoneamentos da cultura da banana e da maçã no Estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 36-40 jul. 2007a.

PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; CAMARGO, C.; MASSIGNAM, A. M.; PINTO, E. S. P.; LIMA, M.; MILANEZ, J. M. Estimativas dos impactos das mudanças climáticas no zoneamento da cultura do feijão no Estado de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 20, n. 3, p. 39-42, nov. 2007b.

PANDOLFO, C.; PEREIRA, E.S.; RAMOS, A. M. et al. Sistema computacional para elaborar o Zoneamento Agrícola de Santa Catarina. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: Epagri, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. CD-ROM.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.; SILVA JÚNIOR V.; MASSIGNAM A.; PEREIRA E.; THOMÉ, U. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.

- PENTEADO, S. R. **Fruticultura de clima temperado em São Paulo**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. 173p
- PESQUERO, J.; CHOU, S.C.; NOBRE, C.A.; MARENGO J.A. Climate downscaling over South America for 1961–1970 using the Eta Model. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 99, p.75-93, 2009.
- PETRI, J.L. Fatores edafoclimáticos. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis, p.105-112, 2006.
- PETRI, J.L.; LEITE, G.B.; YASUNOBU, Y. Studies on the causes of floral bud abortion of japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) in Southern Brazil. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.587, p.375-380, 2002.
- PINTO, H.S.; ASSAD, E.D. (Org). **Aquecimento Global e cenários futuros da agricultura brasileira**. Campinas: EMBRAPA/UNICAMP, 2008. 80p.
- PINTO, H.S.; ZULLO, J. **Geadas: condições de ocorrência e cuidados**. CEPAGRI/UNICAMP. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/geadas.html>. Acesso em 10/2010.
- POLA, A.C.; ANGELOCCI, L.R. Avaliação de modelos de estimativa do numero diário de horas de frio para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.105-116, 1993.
- QUINTANA-GOMEZ, R. A. Trends of maximum and minimum temperatures in Northern South America. **Journal of Climate**, v. 12, p. 2104-2112, 1999.
- RICHTER, G. M.; SEMENOV, M. A. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. **Agricultural Systems**,v. 84, p. 77-97, 2005.
- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M. Climatologia de temperaturas extremas em la Argentina consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de dias extremos. **Meteorológica**, v. 26, n. 1 e 2, p. 69-83, 2001.
- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND M. Observed trends and changes in temperature extremes in Argentina. **Journal Climate**, v.17, p. 4099-4107, 2004.
- SACHS, S.; HERTER, F.G. Localização do pomar. In: SACHS, S. et al. **A cultura do pessegueiro**. Pelotas : Embrapa-CNPFT, 1984. p.13-19. (Circular Técnica, 10).
- SACCO, F. G. **Configurações atmosféricas em eventos de estiagem de 2001 a 2006 na mesorregião Oeste catarinense**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, Programa de Pós-graduação em Geografia, UFSC, 2010.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, n.34, 2007.

SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.23, n.3, p.341-346, 2008.

SCHAEFFER, R; SKLO, A. S.; LUCENA, A. F.; SOUZA, R.; BORBA, B. R.; COSTA, I., JUNIOR, A.; CUNHA, S. H. **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Junho 2008.

SELUCHI, M., MARENGO J. Tropical-Mid Latitude Exchange of air masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1167-1190, 2000.

SILVA, C.; ROSS, M.; FARIAS, T. Evaluation of energy consumption, emissions and cost of plug-in hybrid vehicles. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p.1635–1643, 2009.

SILVA, M.E.S.; GUETTER, A.K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, v.1, n.20, p.112-123, jan./jul.2003.

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, B.; SANS, L.M.A. Efeitos potenciais de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira e estudos de adaptação para trigo, milho e soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

SMALL, E. E.; GIORGI, F.; SLOAN, L. C. Regional climate model simulation of precipitation in central Asia: Mean and interannual variability. **Journal of Geophysical Research**, v.104(D6), p. 6563-6582, 1999.

SOLMAN S.A.; NUÑEZ M.N. Local estimates of global climate change: a statistical downscaling approach. **Int International Journal of Climatology**, v.19, p.835–861, 1999.

SOLMAN, A.S., NUÑEZ, M.N.; CABRÉ, M.F. Regional climate change experiments over southern South America I: present climate. **Climate Dynamics**, v.30, p.533–552, 2008.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. São Paulo: Makron Books/McGraw-Hill do Brasil, 1993.

SUN, L.; SEMAZZI, F. H. M.; GIORGI, F.; OGALLO, L. Application of the NCAR regional climate model to eastern Africa: 1- Simulation of the short rains of 1988. **Journal of Geophysical Research**, v.104(D6), p. 6529-6548, 1999.

TEBALDI, C.; HAOHOW, K.; ARBLASTER, J.; MEEHL, G. Going to Extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. **Climatic Change**, v. 79, p. 185-21, 2007.

TOJO SOLER, C. M. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”**. 2004. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

TRENBERTH, K. Z. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 71, p. 988-993, 1990.

TUCCI, C. E. M. Variabilidade climática e o uso do solo na bacia brasileira do Prata. In: Tucci, C. E.M.; BRAGA, B. (Ed.). **Clima e recursos hídricos**. Porto Alegre, 2003. p.162-207. (Coleção ABRH, v. 9).

URRUTIA R.; VUILLE M. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. **Journal of Geophysical Research** 114 (D2), D02108, 2009,15p.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p. 125 - 145, 2010.

VERA, C.; G. SILVESTRI; B. LIEBMANN; P. GONZÁLEZ. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters**., v. 33, L13707, 2006.

VINCENT, L.A., T.C. PETERSON, V.R. BARROS, M.B. MARINO, M. RUSTICUCCI, G. CARRASCO, E. RAMIREZ, L.M. ALVES, T. AMBRIZZI, M.A. BERLATO, A.M. GRIMM, J.A. MARENGO, L. MOLION, D.F. MONCUNILL, E. REBELLO, Y.M.T. ANUNCIACÃO, J. QUINTANA, J.L. SANTOS, J. BAEZ, G. CORONEL, J. GARCIA, I. TREBEJO, M. BIDEGAIN, M.R. HAYLOCK, D. KAROLY. Observed trends in 73 indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, v.18, p. 5011-5023, 2005.

WILBY, R. L., and WIGLEY, T. M. L. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. **Progress in Physical Geography**, v. 21, p. 530-548, 1997.

WILKS, D.S.; **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 1995. 259 p.

WREGGE, M. S.; RASEIRA, M. C. B.; HERTER, F. G.; PEREIRA, J. F. M. Acúmulo de calor nos 30 dias após a floração plena e sua relação com o ciclo de desenvolvimento de frutos de pessegueiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. CD-ROM.

ZHANG, X.C., LIU, W.Z. Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess

Plateau of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.131, n. (3–4), p. 127–142, 2005.

ZORITA, E., VON STORCH, H., The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. **Journal of Climate**, v. 12, p. 2474-2489, 1999.