

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Jordanna Sousa de Melo**

**Análise de ondas de calor e de frio no Rio Grande do  
Sul por diferentes métodos**

**Campina Grande, Dezembro de 2017**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**JORDANNA SOUSA DE MELO**

**ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO NO RIO GRANDE DO SUL POR  
DIFERENTES MÉTODOS**

Campina Grande - PB

2017

## **JORDANNA SOUSA DE MELO**

Dissertação, em nível de Mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

**Área de concentração:** Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**Sub-área:** Climatologia

**Orientadores:** Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito

Campina Grande - PB

2017

JORDANNA SOUSA DE MELO

ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO NO RIO GRANDE DO SUL POR  
DIFERENTES MÉTODOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15/12/2017

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. DAISY BESERRA LUCENA  
Departamento de Geociências  
Centro de Ciências Exatas da Natureza  
Universidade Federal da Paraíba

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- M528a      Melo, Jordanna Sousa de.  
                Análise de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul por diferentes métodos / Jordanna Sousa de Melo. – Campina Grande-PB, 2018.  
                74 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
                "Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".  
                Referências.
1. Extremos Climáticos. 2. Temperatura Máxima. 3. Temperatura Mínima. 4. ENOS. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

CDU 551.58(043)

*Ao Senhor Jesus por ter me proporcionado à realização de mais um sonho. Aos meus pais, José Arnaldo de Melo e Inacia Xavier de Sousa, ao meu esposo Alex Sandro Lira, aos meus irmãos Junior e Juliano e aos meus sobrinhos Ian, Cauã e Pedro.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me proporcionado mais uma conquista e pelo auxílio nos momentos difíceis. A Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Inacia e Arnaldo, pelo seu amor em tempo integral e por terem me ensinado a dar os primeiros passos na vida, mostrando-me as coisas certas e erradas e por acreditarem no meu potencial.

Ao meu esposo Alex Sandro, pelo amor, apoio, incentivo, companheirismo e compreensão.

Aos meus irmãos Junior e Juliano e aos meus sobrinhos Ian, Cauã e Pedro.

Agradeço imensamente ao meu orientador José Ivaldo Barbosa de Brito pela paciência, compreensão e por dividir seus conhecimentos, ajudando-me no meu progresso profissional.

Agradeço a Daisy Beserra Lucena por ensinar-me a dar os primeiros passos na pesquisa científica e por incentivar-me a buscar crescimento neste meio, obrigada pela paciência e por sua amizade.

As minhas amigas Michelle Mota, Jessica Fontes que mesmo distante estiveram sempre presente em minha vida acadêmica e pessoal.

A minha tia Maria das Graças e minha prima Andressa Katy pelas estadias e pelo apoio familiar em Campina Grande.

A Universidade Federal de Campina Grande por dar-me essa oportunidade.

Aos professores que participaram desta banca examinadora e aos demais professores, que contribuíram para a minha formação profissional.

Por fim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta da elaboração deste trabalho. E a todos que contribuem para o meu sucesso. Muito obrigada.

## RESUMO

Com o intuito de identificar e analisar as ondas de calor e de frio que ocorrem no Rio Grande do Sul foi utilizado quatro diferentes procedimentos em 13 estações meteorológicas, espacialmente distribuídas no Estado, entre os anos de 1961 a 2010. Foram consideradas ondas de calor e frio os períodos de cinco ou mais dias consecutivos de anomalias positivas e negativas de temperaturas máximas e mínimas, respectivamente. Calculou-se as médias climatológicas de temperaturas máximas e mínimas anual, estacional e diárias, e em seguida o número de ondas de calor e de frio para cada localidade, anual e sazonal pelos métodos Índice da Organização Meteorológica Mundial (IOMM), Índice Diário (ID), Índice Sazonal (IS) e RClindex. Ao comparar os métodos verificou-se que o IOMM foi o que detectou o maior número de eventos, os métodos ID e IS praticamente não detectam ondas de calor no verão e de frio no inverno e o RClindex mostrou-se incapaz de detectar a variabilidade interanual de ondas de calor e frio no Rio Grande do Sul. Com relação às configurações espaciais das médias climatológicas das temperaturas do ar máximas e mínimas durante os dias de ondas de calor e frio, respectivamente, assim como os próprios números de dias de ondas calor e frio observou-se um gradiente do litoral para o interior e de sudeste para noroeste. De certa forma estas configurações é uma resposta aos efeitos da continentalidade, latitude e relevo. Quanto à associação da influencia dos eventos El Niño e La Niña no número de ondas de calor e frio observou-se que, em média, ocorrem um número maior de ondas de calor nos anos de El Niño e de frio nos anos de La Niña, entretanto, esta relação não é estatisticamente significativa. Portanto, não é possível afirmar categoricamente que em anos de El Niño tem-se um maior número de ondas de calor e nos de La Niña de frio.

Palavras-chaves: Extremos Climáticos, temperatura máxima, temperatura mínima, ENOS.

## ABSTRACT

In order to identify and analyze the heat and cold waves that occur in Rio Grande do Sul four different procedures were used in 13 meteorological stations, spatially distributed in the State, between 1961 and 2010. Heat waves were considered and periods of five or more consecutive days of positive and negative anomalies of maximum and minimum temperatures, respectively. The annual, seasonal and daily maximum and minimum climatic averages were calculated, followed by the number of heat and cold waves for each locality, annual and seasonal, using the World Meteorological Organization (IOMM), Daily Index (ID), Seasonal Index (IS) and RClindex. When comparing the methods it was verified that the IOMM was the one that detected the greatest number of events, the ID and IS methods practically did not detect heat waves in summer and cold in the winter and RClindex was unable to detect the internal variability of heat and cold waves in Rio Grande do Sul. Regarding the spatial configurations of the climatological means of the maximum and minimum air temperatures during the days of heat and cold waves, respectively, as well as the number of days of heat waves and cold it was observed a gradient of the coast inland and from southeast to northwest. In some ways these settings are a response to the effects of continental, latitude and relief. As for the association of the influence of the El Niño and La Niña events on the number of heat and cold waves, it was observed that, on average, a larger number of heat waves occur in the El Niño and cold years in La Niña, however, this relationship is not statistically significant. Therefore, it is not possible to state categorically that in El Niño years there is a greater number of heat waves and that of La Niña of cold.

Key words: Climate extremes, maximum temperature, minimum temperature, ENSO.

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Domínios climáticos do Brasil e principais subtipos.	21
Figura 2 - Mapa ilustrativos mostrando a localização do Brasil na América do Sul e destacando Rio Grande do Sul.	23
Figura 3 - Mapa do Rio Grande do Sul destacando o relevo estadual	24
Figura 4 - Configuração espacial das cinco unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.	25
Figura 5 - Distribuição espacial das estações meteorológicas do Rio Grande do Sul.	27
Figura 6 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima anual dos dias com ondas de calor para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	31
Figura 7 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima no verão dos dias com ondas de calor para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	32
Figura 8 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima no outono dos dias com ondas de calor para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	33
Figura 9 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima no inverno dos dias com ondas de calor para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	34
Figura 10 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima na primavera dos dias com ondas de calor para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	35
Figura 11 - Média climatológica anual do número de dias em que ocorreram ondas de calor por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	36
Figura 12 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o verão por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	37
Figura 13 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o outono por métodos e localidades para o período de 1961 a	38

2010.

Figura 14	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para a primavera por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	39
Figura 15	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para a primavera por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	39
Figura 16	- Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima anual dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	46
Figura 17	- Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima no verão dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	46
Figura 18	- Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima no outono dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	48
Figura 19	- Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima no inverno dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	49
Figura 20	- Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima na primavera dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.	50
Figura 21	- Média climatológica anual do número de dias em que ocorreram ondas de frio por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	51
Figura 22	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o verão por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	52
Figura 23	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o outono por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	53
Figura 24	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o inverno por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	53
Figura 25	- Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para a primavera por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.	54

## LISTA DE TABELA E QUADROS

	Pág.
Quadro 1 - Estações Meteorológicas do Rio Grande do Sul, utilizados na pesquisa.	26
Tabela 1 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de calor entre os métodos RCLimdex e IOMM para a localidade de Passo Fundo no período de 1961 a 2010.	40
Tabela 2 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de calor entre os métodos RCLimdex e IOMM para a localidade de Bagé no período de 1961 a 2010.	41
Tabela 3 Tabela 8 – Distribuição anual por localidade e média espacial do número de ondas de calor conforme o método IOMM de 1961 a 2010. Os anos foram agrupados em: Neutros (cinza), El Nino (vermelho) e La Nina (azul).	43
Tabela 4 - Médias e desvios padrões do número de ondas de calor em anos Neutro, de El Niño e de La Niña.	44
Tabela 5 - Valores calculados de t-Student para comparação das médias do número de ondas de calor durante os anos Neutro, de El Niño e de La Niña.	44
Tabela 6 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de frio entre os métodos RCLimdex e IOMM para a localidade de Passo Fundo no período de 1961 a 2010.	55
Tabela 7 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de frio entre os métodos RCLimdex e IOMM para a localidade de Bagé no período de 1961 a 2010.	56
Tabela 8 Tabela 8 – Distribuição anual por localidade e média espacial do número de ondas de frio conforme o método IOMM de 1961 a 2010. Os anos foram agrupados em: Neutros (cinza), El Nino (vermelho) e La Nina (azul).	58
Tabela 9 - Médias e desvios padrões do número de ondas de frio em anos Neutro, de El Niño e de La Niña.	59

Tabela 10 - Valores calculados de t-Student para comparação das médias do número de frio de calor durante os anos Neutro, de El Niño e de La Niña.

59

### LISTA DE SIGLAS

ENOS	El Niño Oscilação Sul
OMM	Organização Meteorológica Mundial
IOMM	Índice da Organização Meteorológica Mundial
ID	Índice Diário
IS	Índice Sazonal
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MTA	Massa de ar Tropical Atlântica
MTC	Massa Tropical Continental
MPA	Massa Polar Atlântica
MEC	Massa Equatorial Continental
MEA	Massa Equatorial Atlântica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Geral .....	14
1.1.2 Específicos.....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 Variabilidade Climática.....	15
2.2 Ondas de calor e de frio .....	16
2.3 El Niño Oscilação Sul .....	18
2.4 Climatologia do Rio Grande Do Sul .....	20
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
3.1 Caracterização da Área de Estudo .....	23
3.2 Dados .....	26
3.3 Metodologia .....	27
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1 Análise de Ondas de Calor .....	30
4.1.1 Climatologia de temperatura máxima anual e dos dias com ondas de calor sazonal .....	30
4.1.2 Média Climatológica do número de dias com ondas de calor.....	35
4.1.3 Relação dos eventos de El Niño e de La Niña sobre as ondas de calor .....	42
4.2 Análise de Ondas de Frio .....	45
4.2.1 Climatologia de temperatura máxima anual e dos dias com ondas de frio sazonal .....	45
4.2.2 Média Climatológica do número de dias com ondas de frio.....	50
4.2.3 Relação dos eventos de El Niño e de La Niña sobre as ondas de frio .....	57
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	61
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	62
<b>ANEXOS</b> .....	67

## 1. INTRODUÇÃO

O clima é um fundamental fator para a existência da vida, de um modo geral, e no desenvolvimento de várias atividades humanas. Este passa consecutivamente por mudanças, algumas delas até certo ponto severas, do qual se torna motivo de vários estudos visando à mitigação dos efeitos causados de forma direta ou indireta, que por sua vez prejudicam as distintas formas de vida na superfície terrestre.

De acordo com definição do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* – (IPCC, 2014) a alteração climática incide numa mudança estatisticamente significativa da média e/ou da variabilidade das variáveis que determinam o clima e que perdura por longos períodos, em ordem decadal ou mais, sem uma identificação específica da causa dessa variação. Através desta definição, a alteração climática poderá advir de causas naturais e/ou antropogênicas (derivada de atividades humanas) (SANTOS e MIRANDA, 2006).

A variabilidade interanual e intrasazonal de variáveis climáticas, como, por exemplo, a temperatura do ar, tem sido amplamente investigada (PETERSON et al., 2013). A propósito, as ondas de calor e de frio fazem parte da grande variabilidade do clima, pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando conhecer o que provoca estes eventos, bem como as análises de episódios extremos (BALDI et al., 2006). De acordo com Kostopoulo e Jones (2005) estes eventos causam perdas humanas e econômicas e geralmente são noticiados nos jornais escritos e televisionados.

Conforme Peterson et al. (2013) ondas de calor e frio são tipicamente definidas como eventos que excedem, durante um número mínimo de dias, os limites de temperatura especificados. A escolha destes limites pode ser por estimativa estatística ou por número absoluto, no último caso a escolha é função da posição geográfica e do setor. Análise robusta de ondas de calor e frio ao longo do tempo requer dados diários de temperaturas mínimas e máximas, a partir de estações com registros de dados suficientemente longo no tempo, além de boa qualidade, integridade e homogeneidade temporal. Carvalho e Rocha (2010) descreveram que, para a Organização Mundial de Meteorologia ondas de calor e de frio são períodos com dias em que prevalece calor ou frio excessivo, ou seja, temperatura do ar superior a temperatura máxima média anual mais 5°C (onda de calor) ou inferior a temperatura mínima menos 5°C (onda de frio), com uma duração equivalente a seis ou mais dias consecutivos.

No caso específico do Brasil estudos climatológicos de ondas de calor e de frio podem ser extremamente relevantes, pois além de mostrar possíveis associações com os sistemas da circulação geral da atmosfera, podem auxiliar em um melhor entendimento do clima do País, principalmente para a Região Sul, e em particular, o Rio Grande do Sul, Estado em que a economia é, de certa forma, dependente da agricultura e da pecuária, das quais dependem de condições climáticas adequadas para o seu desenvolvimento (FIRPO et al., 2012).

As ondas de calor e de frio ocorrem em todo o Brasil. Entretanto, o Rio Grande do Sul, por ser o estado brasileiro localizado em latitudes mais meridional, com grande parte de sua área ao sul de 30°S, pode ser considerado um bom laboratório para o estudo sobre ondas de calor e frio.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste trabalho é identificar e analisar as ondas de calor e de frio que ocorrem no Rio Grande do Sul, obtidas por diferentes procedimentos.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Produzir a climatologia anual e estacional da temperatura máxima dos dias de ondas de calor e frio no Rio Grande do Sul usando os métodos da OMM, IS, ID e RCLIMDEX;
- Produzir a climatologia anual e estacional do número de ondas de calor e frio no Rio Grande do Sul pelos métodos da OMM, IS, ID e RCLIMDEX;
- Investigar possíveis variabilidades interanual e intersazonal de ondas de calor e frio;
- Comparar o número de dias de ondas de calor e frio obtidos pelos diferentes métodos.
- Verificar a Influencia dos eventos El Niño e La Niña no número de ondas de calor e frio.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Variabilidade Climática

O clima corresponde à descrição estatística em termos de média e variabilidade de quantidades relevantes durante um período de tempo que varia entre meses até milhares ou milhões de anos (IPCC, 2009).

O clima vem passando por contínuas variações naturais, essas mudanças climáticas envolvem fatores internos (modificações no sistema solar, atividades vulcânicas e consequência astronômicos sobre a órbita da terra) e externos (a variabilidade natural do clima e sua interação com a atmosfera, oceanos e superfície da terra) ao sistema (PINTO et al., 2003).

Variabilidade Climática é uma característica natural do sistema climático terrestre, do qual é responsável por oscilações naturais nos padrões climáticos, observados em nível local, regional e global (CONFALONIERI, 2003). Podendo afetar a vida social e econômica da população em geral, como por exemplo, nas atividades agrícolas, na geração de energia, na indústria turística e indiretamente em todo o setor produtivo (BRITTO et al., 2008).

De acordo com Braganza et al. (2003) um indicador da variabilidade interna do clima em simulações com modelos e em observações é a temperatura média global, da qual é frequentemente utilizada como um índice mais simples de variabilidade e mudança do clima global.

A principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do Globo segundo BERLATO e FONTANA (2003) é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), que é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, que ocorre no Oceano Pacífico tropical, do qual apresenta duas fases extremas: uma fase quente denominada El Niño e uma fase fria denominada La Niña.

A avaliação dos eventos climáticos extremos provoca um grande interesse, entre outras razões, porque normalmente causam enormes perdas e transtornos econômicos. Os eventos climáticos podem ser determinados através de episódios com valores de variáveis meteorológicas que excedem certo nível, dos quais correspondem a uma pequena probabilidade (SANTOS, 2006).

Os fenômenos meteorológicos anômalos estão inseridos na variabilidade natural do sistema terra-atmosfera, as mudanças no clima tornaram-se cada dia mais consideráveis,

fazendo-se necessário intensificar o entendimento sobre a variabilidade dos eventos extremos, desempenhando estudos consecutivos (MULLER, 2006).

No século XX houve um acréscimo de  $0,65^{\circ}\text{C}$  na média da temperatura global, sendo este mais acentuado na década de 90, as prováveis causas dessas mudanças entre o sistema terra oceano-atmosfera são analisadas considerando as suas forçantes e seus mecanismos de interação (IPCC, 2014).

Para descrever a variabilidade e a mudança do clima global Braganza et al. (2004) afirma que alguns estudos utilizaram índices simples de padrões da temperatura de superfície, entre eles: o contraste de temperatura entre o oceano e a superfície, o gradiente térmico meridional, o contraste inter-hemisférico e a magnitude do ciclo anual, tais índices estão relacionados com elementos dinâmicos dos quais determinam questões da ampla circulação atmosférica.

De acordo com Pinto et al. (1989) a variabilidade climática ao longo do tempo no Brasil depende da região analisada, podendo ocorrer constantes transformações ou ciclos bem definidos dos elementos meteorológicos, como as temperaturas e a precipitação.

As análises climáticas em escala regional na variabilidade climática com procedências natural e/ou socioeconômico podem ser expressas por padrões naturais ou transformações derivadas da ação antrópica (SANT'ANNA NETO, 2003).

## **2.2 Ondas de calor e de frio**

Com relação às prováveis consequências das mudanças climáticas, um dos aspectos a ser observado é a frequência com que vem ocorrendo eventos extremos de calor e de frio, que são identificados como “ondas de calor” e “ondas de frio”.

Segundo Rusticucci e Vargas (2001) as “ondas” são definidas como sequências diárias de anomalias de temperaturas com o mesmo sinal. Portanto, neste evento, são considerados três parâmetros, que são: o valor máximo (anomalia positiva) ou mínimo (anomalia negativa) da onda e a “intensidade” (média de anomalias da onda) e o comprimento ou persistência (número de dias ininterruptos da anomalia, observando o mesmo sinal).

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) uma onda de calor (frio) é caracterizada quando em um espaço de mais ou menos seis dias consecutivos, a

temperatura máxima (mínima) diária é superior (inferior) em 5°C (-5°C) a um valor médio diário em relação a um período de referência.

No Rio Grande do Sul ao longo do ano, algumas condições de tempo comprometem o conforto e bem-estar da população, dos quais provocam algumas reações tanto psicológicas como fisiológicas. Essas condições são eventos com uma duração que varia e que podem durar por alguns dias, como as ondas de calor e ondas de frio (RIBEIRO e NUNES, 2011).

De acordo com Sartori (2003) as ondas de frio representam períodos de duração variável (de 3 a 9 dias) com intensas quedas das temperaturas, embora na maioria dos casos não ultrapasse 4 dias. Habitualmente ocorrem em meados do outono até início da primavera, quando há uma intensificação dos gradientes térmicos entre as altas e baixas latitudes, estimulando as invasões dos anticiclones polares. Já as ondas de calor representam acréscimo das temperaturas ao longo de períodos de duração variável em torno de 3 a 7 dias consecutivos, que são mais comuns no verão, podendo ocorrer, no entanto, em qualquer época do ano.

As condições atmosféricas realizam forte influência sobre a sociedade e os estados de saúde, ou no que se refere às doenças do organismo humano, do qual estabelece uma das várias manifestações desta influência mútua. Deste modo, é conciso esclarecer como o clima intervém na qualidade de vida da população (KOGIMA, 2015). Ainda segundo Kogima (2015) o organismo humano poderá estar mais exposto a períodos de calor intenso, que se prolongam por vários dias consecutivos e constituem uma agressão ao mesmo, podendo conduzir ao agravamento de doenças. Da mesma forma os animais e as plantas possuem uma faixa ideal de conforto, na qual seu metabolismo funciona normalmente, mas quando os limites são ultrapassados ocorrem estresse e perdas de produtividade.

Em um estudo sobre ondas de frio em Santa Maria-RS, Costa et al. (2007) tiveram por objetivo determinar se existe relação ou não entre a ocorrência deste fenômeno meteorológico e os eventos El Niño e La Niña. Foi analisado a ocorrência de ondas de frio e a influencia dos eventos de El Niño, La Niña e Anos neutros nos meses de abril a outubro de 1968 a 2004. Os autores verificaram que as ondas de frio não tem episódio obrigatoriamente anual na Região e que as mesmas estão na dependência excepcional e exclusiva da ação das massas polares e da atuação de fatores geográficos do clima como a continentalidade, latitude e altitude.

Costa (2013) estudou a gênese, duração e as temperaturas mínimas registradas durante a onda de frio ocorrida no Rio Grande do Sul entre os dias 06 e 10 de junho de 2012. Ele

considerou a duração da onda de frio de no mínimo três e no máximo nove dias em que as temperaturas mínimas fossem inferiores a 3°C e as máximas não excedessem 12°C, verificou que as ondas de frio tiveram sua origem associada à Massa Polar Continental, assim como todas que acontecem ou já aconteceram no Estado.

Firpo et al. (2012) investigaram a variabilidade sazonal das ocorrências de ondas de frio e calor no Rio Grande do Sul e suas relações com os eventos El Niño e La Niña. Foram utilizados dados de 13 estações de superfície bem distribuídas pelo Estado, no período de 39 anos, compreendido entre 1967 e 2005. Observaram que a variabilidade sazonal das ondas de frio é diferente da variabilidade das ondas de calor. Verificaram que ocorrem mais ondas de frio nos meses com as temperaturas mínimas mais baixas, e as ondas de calor têm comportamento mais heterogêneo. Concluíram que há defasagem entre a ocorrência dos eventos El Niño/La Niña e o seu impacto no surgimento de ondas de calor/frio.

### **2.3 El Niño Oscilação Sul**

A variabilidade do clima é modulada por fenômenos atmosféricos resultantes da configuração da circulação de grande escala, de interações oceano/atmosfera, como as oscilações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os Oceanos Tropicais, tais como o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) sobre o Pacífico (NOBRE e MOLION, 1988).

O ENOS é um fenômeno de grande escala que afeta as circulações atmosféricas, causando perturbações climáticas de âmbito global. Numa escala interanual e mundial, distinguem-se o fenômeno em El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria). Esse mecanismo induz processos oceânicos que auxiliam uma elevação (período de El Niño) ou submersão (período de La Niña) da termoclina, o que coopera para que a região do Pacífico equatorial leste se torne mais quente (fria), intensificando o El Niño (a La Niña) existente (CORRÊA, 2016).

De acordo com Barcelos et al. (2009) esta oscilação é reconhecida por irregularidades da temperatura da superfície de águas do oceano Pacífico, dos quais induzem a circulação atmosférica e alteram as precipitações e a temperatura em diversos lugares do mundo, o aquecimento e o resfriamento num episódio típico de ENOS pode durar em torno de 12 a 18 meses, este fenômeno comumente tem consequências de grande magnitude em intervalos aleatórios.

Durante os eventos ENOS acontecem mudanças na circulação atmosférica, das quais geram condições anômalas que influenciam o Clima de diversas regiões do mundo, isso se dá devido ao fato dos eventos de El Niño e La Niña modificarem a estrutura da circulação atmosférica, por tal motivo é de presumir que estes eventos também modifiquem as temperaturas a superfície (FIRPO, 2008).

Segundo Berlato e Fontana (2003) os efeitos desse fenômeno no Brasil variam de acordo com a Região, apesar de que os elementos mais afetados são a precipitação e a temperatura. Alguns estudos indicam que o semiárido do nordeste, norte e leste da Amazônia, sul do Brasil e vizinhanças são afetados de forma pronunciada pelo ENOS. Especificamente na região sul incide um acréscimo significativo da precipitação, principalmente no decorrer da primavera do primeiro ano e no fim do outono e início do inverno do segundo ano (BARCELOS et al., 2009).

Episódios de ENOS induzem intensas modificações climáticas na região tropical e em diversas regiões do globo terrestre, tais modificações são consequência do acréscimo de grandes proporções de energia, da qual é dissipada no decorrer de ondas de calor (BERLATO e FONTANA, 2003).

Ao investigar a relação entre os eventos El Niño e La Niña e os extremos de frio e calor no Cone Sul da América do Sul, Grimm e Togatlian (2002) verificaram um aumento da regularidade de eventos frios durante eventos de La Niña, bem como o aumento da frequência de eventos quentes durante os eventos de El Niño, isto é, tais eventos cooperam para um aumento da variabilidade da temperatura diária.

Bidegain e Renom (2002) verificaram que o ENOS influencia nitidamente as localidades uruguaias mais quentes e continentais, e que durante a La Niña as temperaturas mínimas são menores que as normais e as máximas são maiores que o esperado, isto é, há uma maior amplitude térmica, enquanto na fase do El Niño a amplitude térmica diária é menor.

Um possível efeito do El Niño na ocorrência das ondas extremas sobre a Argentina foi estudado por Rusticucci e Vargas (2001), eles constataram que as ondas de calor no inverno são mais persistentes no ano de El Niño e mais intensas no inverno seguinte, porém quando ocorre La Niña, nos meses mais quentes as ondas se mostram mais intensas, já às ondas de frio são mais constantes em meses de La Niña.

O Rio Grande do Sul por está localizado no extremo meridional do Brasil aponta forte indicio de influência dos fenômenos El Niño e La Niña (BERLATO e FONTANA, 2003). Costa et al (2007) buscou uma relação entre as ondas de frio na região de Santa Maria e os eventos de El Niño – La Niña, constataram que as ondas apresentaram-se com mais frequência em anos neutros, e que em meses sob influência desses eventos a ocorrência de ondas de frio é mínima ou é inexistente.

Ao analisar a influência dos eventos de ENOS no Rio Grande do Sul, Firpo (2008) constatou que nos anos de La Niña houve aumento das ondas de frio e diminuição das ondas de calor, já nos anos sob influência do El Niño tem-se o oposto, o aumento das ondas de calor e diminuição das ondas de frio.

## **2.4 Climatologia do Rio Grande do Sul**

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007) na maior parte do território brasileiro o clima é quente e úmido, apresentando variações que conjecturam no desenvolvimento de distintos cenários naturais. Estes autores também descreveram que o Brasil oferece uma considerável tipologia climática que cogita a influência dos controles climáticos resultantes da configuração do território, da latitude, da altitude e formas do relevo, da maritimidade e continentalidade, da extensão territorial e da dinâmica das massas de ar e das frentes que penetram no território nacional. Levando em considerações estas características o Brasil apresenta cinco tipos climáticos principais e suas derivações que são decorrentes das principais Massas de ar que atuam no País, a saber: Massa de ar Tropical Atlântica (MTA); Tropical Continental (MTC), Polar Atlântica (MPA), Equatorial Continental (MEC) e Equatorial Atlântica (MEA), cujas influências no território nacional são mostradas na Figura 1 (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007).

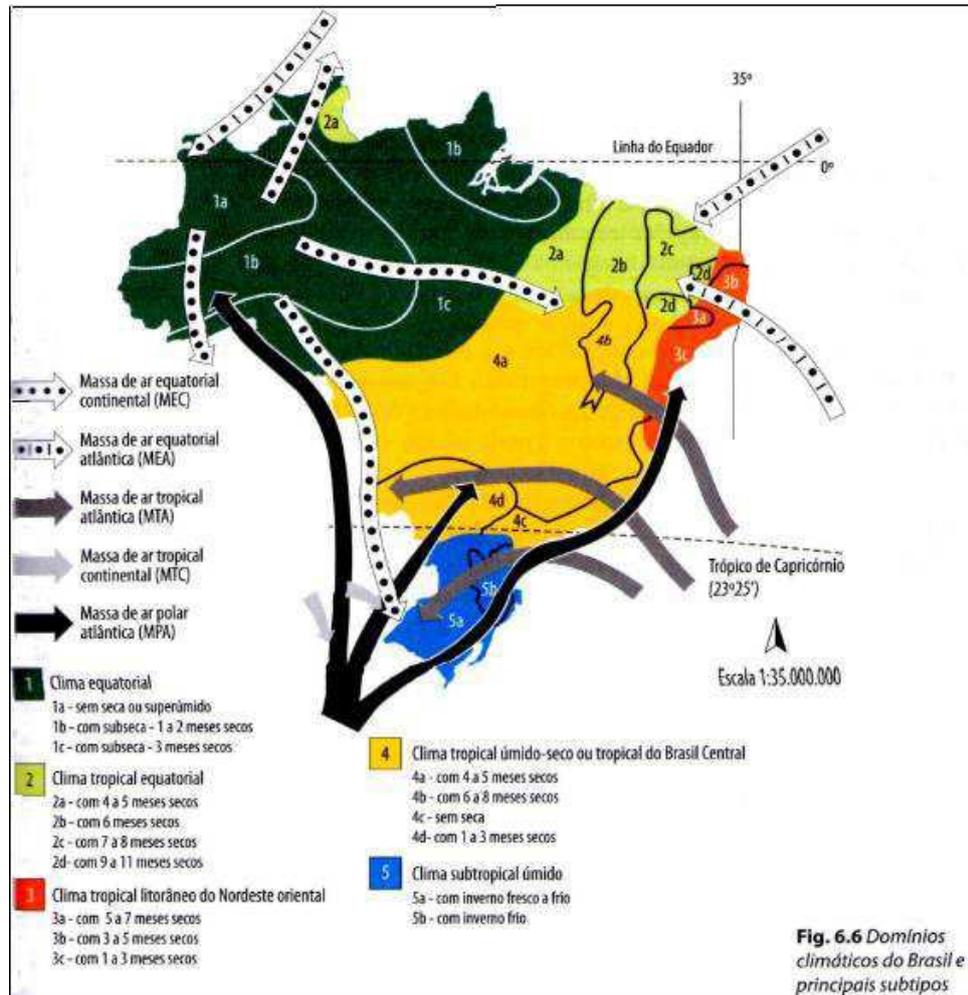


Figura 1- Domínios climáticos do Brasil e principais subtipos.

Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Observando a Figura 1 verifica-se que o Rio Grande do Sul enquadra-se no clima Subtropical Úmido e as massas de ar Tropical Atlântica (MTA); Tropical Continental (MTC), Polar Atlântica (MPA) e a Equatorial Continental (MEC) são as que influenciam a região.

Ressalta-se que, outros pesquisadores apresentaram outros tipos de classificação climática para o Brasil e em particular para o sul do País, por exemplo, segundo Nimer (1989) na região sul do Brasil o clima proporciona características típicas em relação à configuração climática brasileira de forma geral. É determinado como sendo subtropical de caráter mesotérmico, com forte amplitude térmica regional, com alta distribuição anual das chuvas, sem ocorrência de períodos secos. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger

o clima dominante no Rio Grande do Sul é temperado muito úmido e verão quente e chuvas bem distribuída no decorrer do ano (RUBEL e KOTTEK, 2010).

A Região Sul do Brasil, destacadamente o Rio Grande do Sul, por seu afastamento do Equador, sofre os efeitos típicos de inverno característico das regiões de clima temperado, durante os meses de junho a agosto. Isso ocorre devido a sucessivas e intensas incursões de massas de ar polares, acentuando a redução da temperatura que comumente atinge valores pouco superiores a 0° C e, às vezes, negativos (NIMER, 1989). No verão, por outro lado, os dias são mais longos e a inclinação dos raios solares é pequena, o que contribui para que o forte calor se estabeleça. O verão climático desta região normalmente dura três meses, restrito a dezembro, janeiro e fevereiro, sendo janeiro o mais representativo da estação do ano. (FIRPO et al., 2012).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

O Rio Grande do Sul está localizado na região sul do Brasil (Figura 2) e abrange uma área de 281.748,538 km<sup>2</sup>, localizado em entre os paralelos de 33,8°S e 27,0°S e os meridianos de 57,7°W e 49,7°W, sendo constituída por 497 municípios (IBGE, 2010). Apresenta os seguintes limites geográficos: Santa Catarina ao norte; Oceano Atlântico ao leste; Uruguai ao sul e Argentina ao oeste. De um modo geral, o Rio Grande do Sul apresenta suas terras mais elevadas na parte norte-nordeste e as mais baixas na faixa litorânea e no extremo sudoeste do Estado (Figura 3).



Figura 2- Mapa ilustrativos mostrando a localização do Brasil na América do Sul com destaque o Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Adaptado de Maisaosul (2014)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <<https://maisaosul.wordpress.com/2014/08/19/rio-grande-do-sul-o-estado-mais-ao-sul/>>

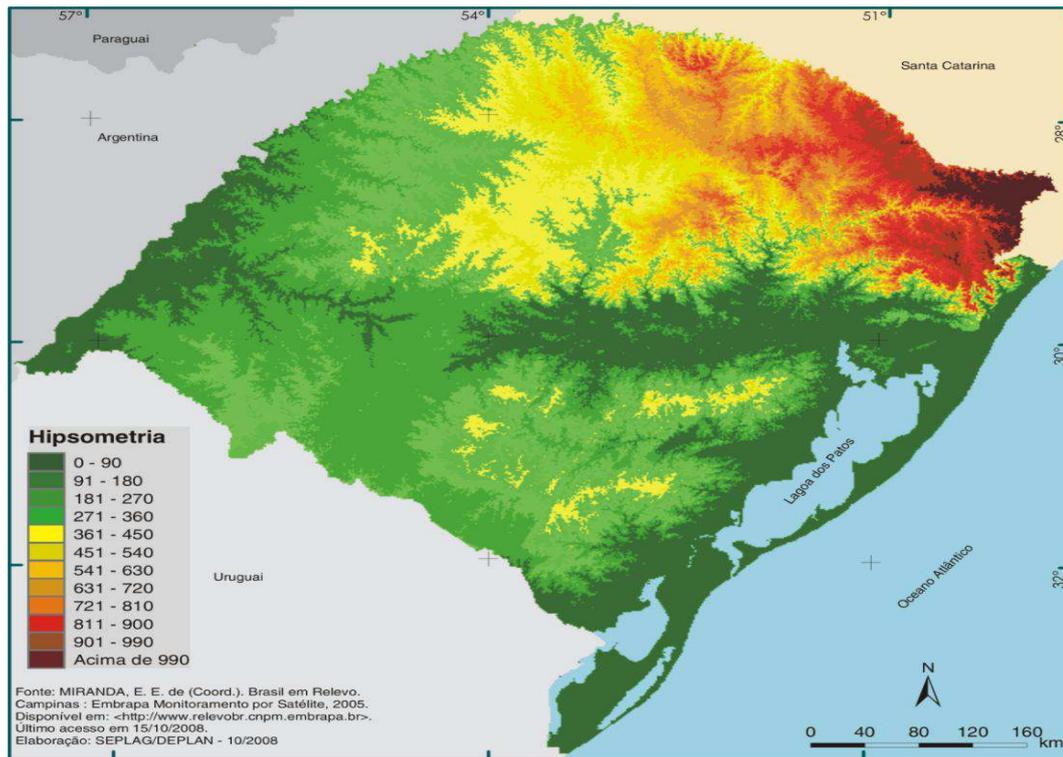


Figura 3- Mapa do Rio Grande do Sul destacando o relevo estadual.

Fonte: Miranda (2005).

O Rio Grande do Sul possui três tipos de relevos: Planalto, Depressões e Planície e são encontradas nesses três tipos de relevos, cinco unidades geomorfológicas: Planalto Meridional; Depressão Central; Planalto Sul-Rio-Grandense; Planície Costeira e Cuesta do Haedo, conforme mostradas na Figura 4 (PERCILIA, 2016).

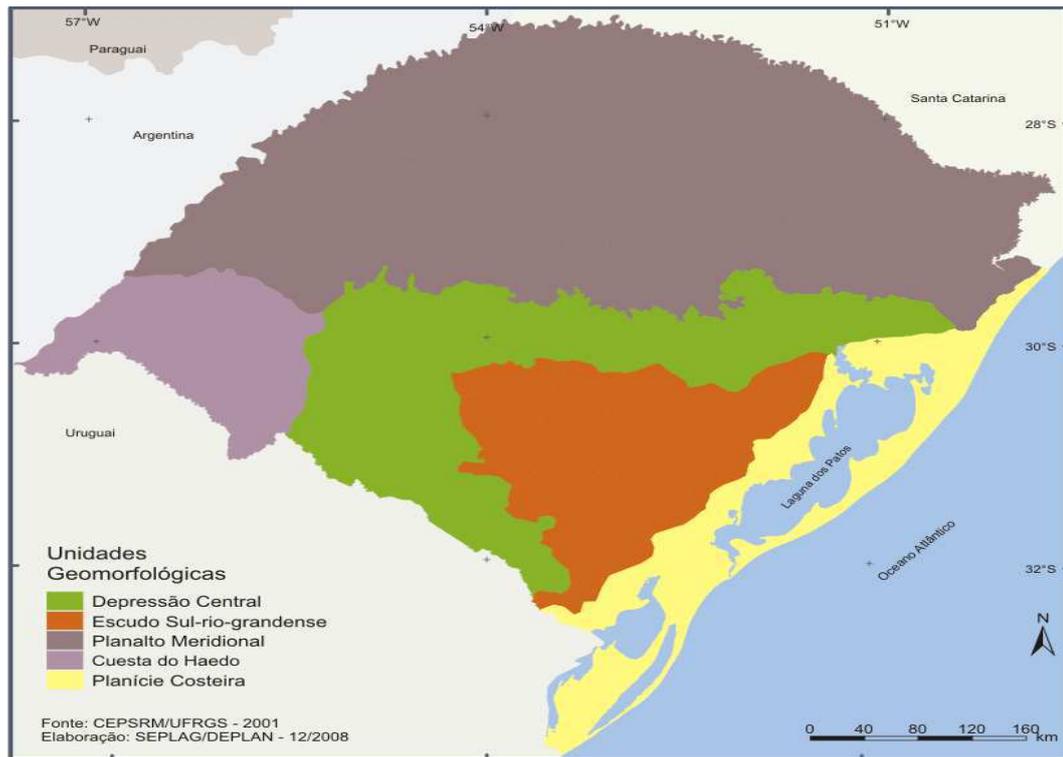


Figura 4- Configuração espacial das cinco unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.

Fonte: CEPSRM/UFRGS (2001).

Com relação à vegetação nas regiões sul e oeste apresentam campos; na região leste presença de floresta tropical; na área norte presença de matas de araucárias; na faixa litorânea presença de mangues.

O território do Rio Grande do Sul localiza-se em uma zona climaticamente de transição, como toda a Região Sul do Brasil e, por isso, as fundamentais características climáticas da área de estudo cogitam da participação de Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) quanto dos Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas), apesar dos Sistemas Atmosféricos Extratropicais exercerem influência dos tipos de tempo.

Os fatores dinâmicos que determinam a formação do clima e controlam o limite e a sequência dos tipos de tempo e os fatores geográficos regionais do Rio Grande do Sul como altitude, relevo, continentalidade e vegetação, tornam-se responsáveis apenas por mudanças na estimativa dos elementos climáticos (SARTORI, 2003).

O Rio Grande do Sul encontra-se na área compreendida pelos climas de latitudes médias onde há intensa interação entre as massas de ar tropical e polar (CARDIA, 2010).

Segundo dados da normal climatológica de 1961-1990 a precipitação total anual média fica em torno de 1555 mm/ano, a temperatura do ar apresenta uma média anual de 18,1°C, com uma máxima de 23,9°C e mínima de 13,5°C. A umidade relativa do ar anual no Rio Grande do Sul fica em torno de 76% e a insolação anual atinge 259,4 h/ano (INMET, 2016).

### 3.2 Dados

Os dados diários de temperaturas máximas e mínimas, para 13 localidades do Rio Grande do Sul, são oriundos das Estações Meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a saber: Passo Fundo, Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Torres, Irai, Encruzilhada do Sul, Cruz Alta, São Luiz Gonzaga, Caxias do Sul e Santa Vitória do Palmar. Configuração da distribuição espacial das estações é mostrada na Figura 5.

Quadro 1 - Estações Meteorológicas do Rio Grande do Sul, utilizados na pesquisa.

<b>Código</b>	<b>Estação Meteorológica</b>	<b>Sigla</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Altitude (m)</b>
83881	Iraí	IRA	-53,23	-27,21	247
83907	São Luiz Gonzaga	SLG	-55,02	-28,4	245
83912	Cruz Alta	CA	-53,6	-28,63	473
83914	Passo Fundo	PF	-52,4	-28,22	684
82927	Uruguaiana	URU	-57,08	-29,75	62
83936	Santa Maria	SM	-53,7	-29,7	95
83942	Caxias do Sul	CS	-51,2	-29,17	760
83948	Torres	TOR	-49,72	-29,35	5
83964	Encruzilhada do Sul	ES	-52,52	-30,53	428
83967	Porto Alegre	PA	-51,17	-30,05	47
83980	Bagé	BG	-54,1	-31,33	242
83985	Pelotas	PEL	-52,42	-31,78	13
83997	Santa Vitória do Palmar	SVP	-53,35	-33,52	24

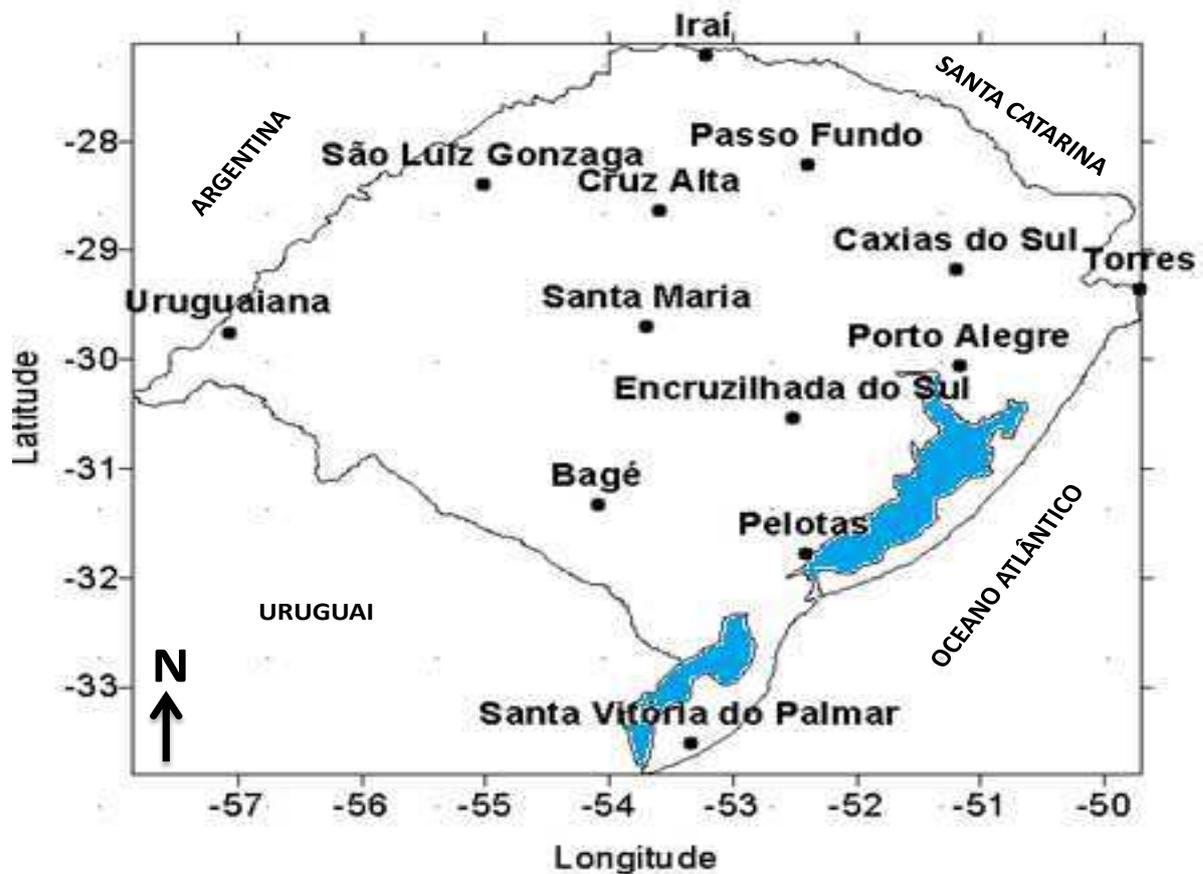


Figura 5 - Distribuição espacial das estações meteorológicas do Rio Grande do Sul.

### 3.3 Metodologia

Os dados utilizados foram trabalhados através de planilha eletrônica do Microsoft Excel 2007, dos quais permitiu a elaboração de tabelas e gráficos.

Através dos dados das temperaturas máximas e mínimas diárias realizaram-se análises, das quais foram considerados os subsequentes índices para a classificação das ondas de calor e de frio:

- ÍNDICE DA ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (IOMM) – calculou-se a média diária geral das temperaturas máximas e mínimas separadamente para o período de referência que vai de 1956 a 2010 e, em seguida, adicionou 5°C para a média das máximas e verificou quando ocorreram cinco dias consecutivos ou mais

com valores acima da média adicionada com os 5°C para obter as ondas de calor e subtraiu 5°C da média das mínimas para obter as ondas de frio;

- ÍNDICE SAZONAL (IS) - para o estabelecimento deste índice foi calculada a média geral das máximas e das mínimas no período histórico de 1956 a 2010 para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão); março, abril e maio (outono); junho, julho e agosto (inverno) e setembro, outubro e novembro (primavera), em seguida, acrescentou-se 5°C a essa média máximas de cada estação do ano para identificar as ondas de calor e acrescentou -5°C as médias mínimas de cada estação para obter as ondas de frio;
- ÍNDICE DIÁRIO (ID) – para a obtenção deste índice foi calculada as médias diárias de cada dia do ano para o período de 1956 a 2010, a cada valor médio diário foi acrescentado 5°C as temperaturas máximas e acrescentou -5°C as temperaturas mínimas e, posteriormente, identificadas as ondas de calor e as ondas de frio que ocorreram em cada ano do período de referência.

Além das análises de ondas de calor e frio utilizando os índices IOMM, IS e ID também serão analisados as ondas de calor e frio usando o *software* RCLimindex, que estima os números de dias no ano sobre o domínio de ondas de calor e de frio. O número de dias de ondas de calor no ano é contabilizado pela contagem de dias com pelos menos seis dias consecutivos com temperatura máxima superior ao percentil 90 das temperaturas máximas diárias da estação meteorológica duração todo período analisado, tendo como unidade dias/ano. Enquanto, que o número de dias de ondas de frio no ano é contabilizado pela contagem de dias com pelos menos seis dias consecutivos com temperatura mínima inferior ao décimo percentil das temperaturas mínimas diárias da estação meteorológica duração todo período analisado, tendo como unidade dias/ano.

Para a relação dos eventos de ENOS será estabelecida quando a anomalia de temperatura trimestral da superfície do mar no oceano Pacífico Equatorial é superior ou igual 0,5°C pelo quinto mês consecutivo (NCEP, 2017). Com base nesta informação e nos dados do Niño 3.4<sup>2</sup>, verifica-se que em aproximadamente 25% do tempo, tem-se evento El Niño, em outros 25% tem-se La Niña e 50% neutro para o período de 1956 a 2010. Fazendo esta extrapolação para médias anuais de temperatura da superfície do mar no Pacífico Equatorial Central, observa-se que anos com anomalias superior ou igual a 0,40°C pode ser denominado

---

<sup>2</sup> <[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>

de El Niño, enquanto, anos com anomalias inferior ou igual a  $-0,40^{\circ}\text{C}$  pode ser denominado de ano de La Niña.

Após a separação dos anos de El Niño, Neutros e de La Niña são calculadas as médias e os desvios padrões do número de ondas de calor e de frio durante estes eventos. Em seguida é calculado o valor  $t$  do teste t-Student para comparação de médias, objetivando verificar se as médias do número de ondas de calor e frio no Rio Grande do Sul nos anos de El Niño são diferentes das que ocorrem nos anos de La Niña e dos anos Neutros. Ressalta-se que o valor  $t$  é dado por:

$$t = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{\frac{s_2^2}{n_2} + \frac{s_1^2}{n_1}}} \quad (1)$$

em que  $Y_2$  é a média do número de ondas de calor para os anos de El Niño (ou a média do número de ondas de frio para os anos de La Niña),  $s_2$  é o desvio padrão amostral do número de ondas de calor para os anos de El Niño (ou o desvio padrão amostral do número de ondas de frio para os anos de La Niña),  $n_2$  é o número de anos com ocorrência de El Niño, quando computado as ondas de calor (ou o número de anos com ocorrência de La Niña, quando computado as ondas de frio),  $Y_1$  é a média do número de ondas de calor para os anos de La Niña ou Neutro (ou a média do número de ondas de frio para os anos de El Niño ou Neutro),  $s_1$  é o desvio padrão amostral do número de ondas de calor para os anos de La Niña ou Neutro (ou o desvio padrão amostral do número de ondas de frio para os anos de El Niño ou Neutro) e  $n_1$  é o número de anos de condições Neutra ou de La Niña, quando computado as ondas de calor (ou o número de anos com ocorrência de El Niño ou Neutro, quando computado as ondas de frio).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os índices IOMM, ID e IS foram às formas escolhidas para classificar as ondas de calor e de frio na região de estudo, no período de 49 anos. Portanto, a seguir são analisadas as ondas de calor e frio obtidas para cada um destes índices.

### **4.1 Análise de Ondas de Calor**

#### **4.1.1 Climatologia da temperatura máxima anual e sazonal dos dias com ondas de calor**

Nas Figuras 6 (a), (b) e (c) observa-se a média climatológica anual da temperatura máxima diária dos dias com ondas de calor de acordo com os métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Nota-se que, de um modo geral, as três configurações são semelhantes com as maiores médias na parte oeste do Estado diminuindo na direção leste. Observa-se também que o IOMM apresenta os maiores valores, seguido pelos de IS e o ID que apresenta os menores valores, principalmente, na faixa litorânea, cuja configuração espacial é um pouco diferente dos demais.

Ressalta-se que esta configuração espacial da média anual climatológica da temperatura máxima, com valores decrescentes à medida que se afasta do noroeste em direção ao litoral do estado, é decorrente da continentalidade, que, em geral está diretamente ligada as temperaturas, pois, quanto maior a distância da região com relação ao mar mais elevada é a amplitude térmica anual. Outros fatores responsáveis pela configuração espacial da temperatura do ar próximo a superfície são a latitude e a altitude, que são os responsáveis pelos menores valores da média anual da temperatura máxima no sudeste e nordeste do Estado, respectivamente.

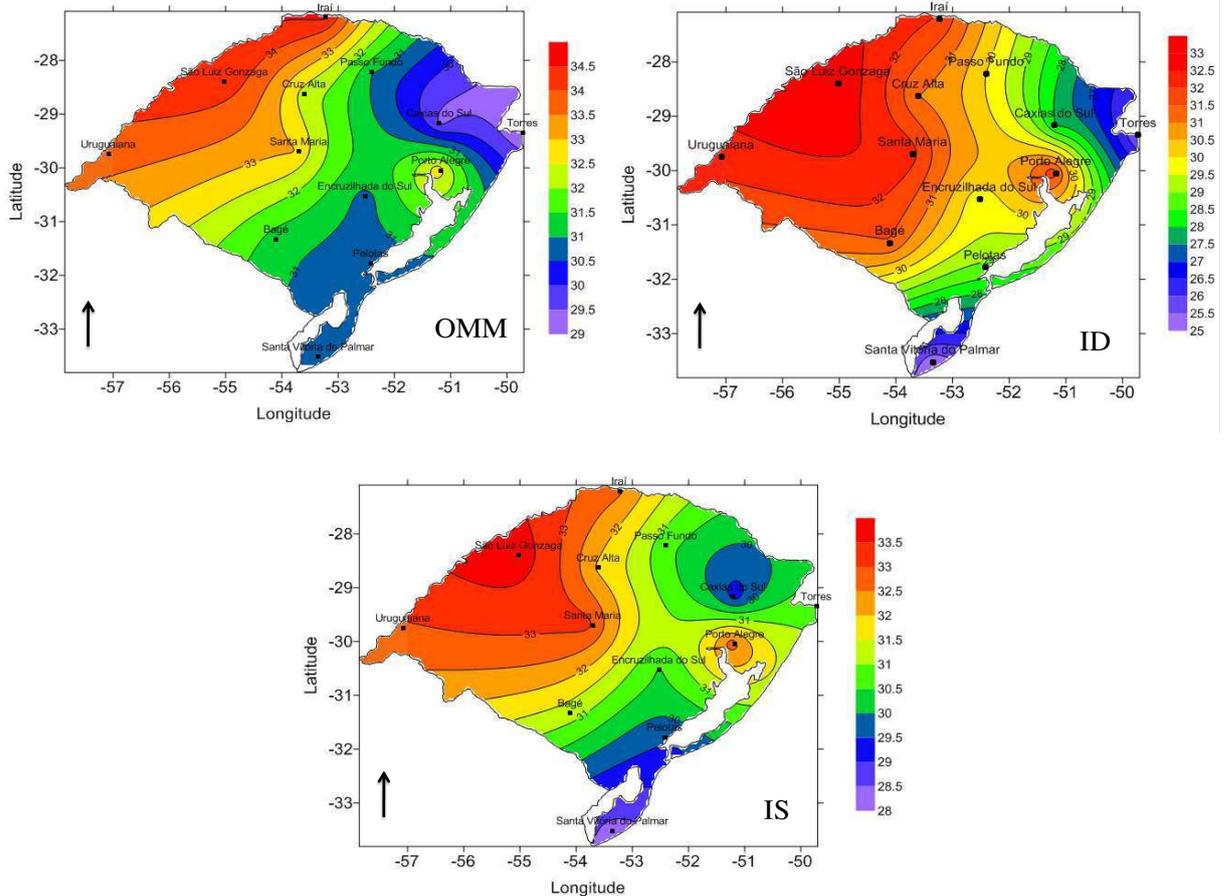


Figura 6 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) anual dos dias com ondas de calor para os índices IOMM, ID e IS.

Nas Figuras 7(a), (b) e (c) tem-se a média climatológica sazonal da temperatura máxima diária dos dias de onda de calor durante o verão obtida pelos métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Verifica-se que o índice IOMM está com valores bem diferentes dos demais índices, chegando a uma diferença de até dois graus. Porém os índices ID e IS apresentam valores bem semelhantes. Isto é o efeito da própria metodologia, pois para o IOMM contabilizam-se as ondas de calor a partir da temperatura máxima anual, enquanto, o IS usa-se a temperatura máxima de verão, e ID a média das temperaturas máxima diárias dos dias de verão.

Assim como nas observações anuais, as temperaturas médias climatológicas dos dias com ondas de calor durante o verão apresentam valores crescentes do litoral do extremo sudeste em direção ao noroeste.

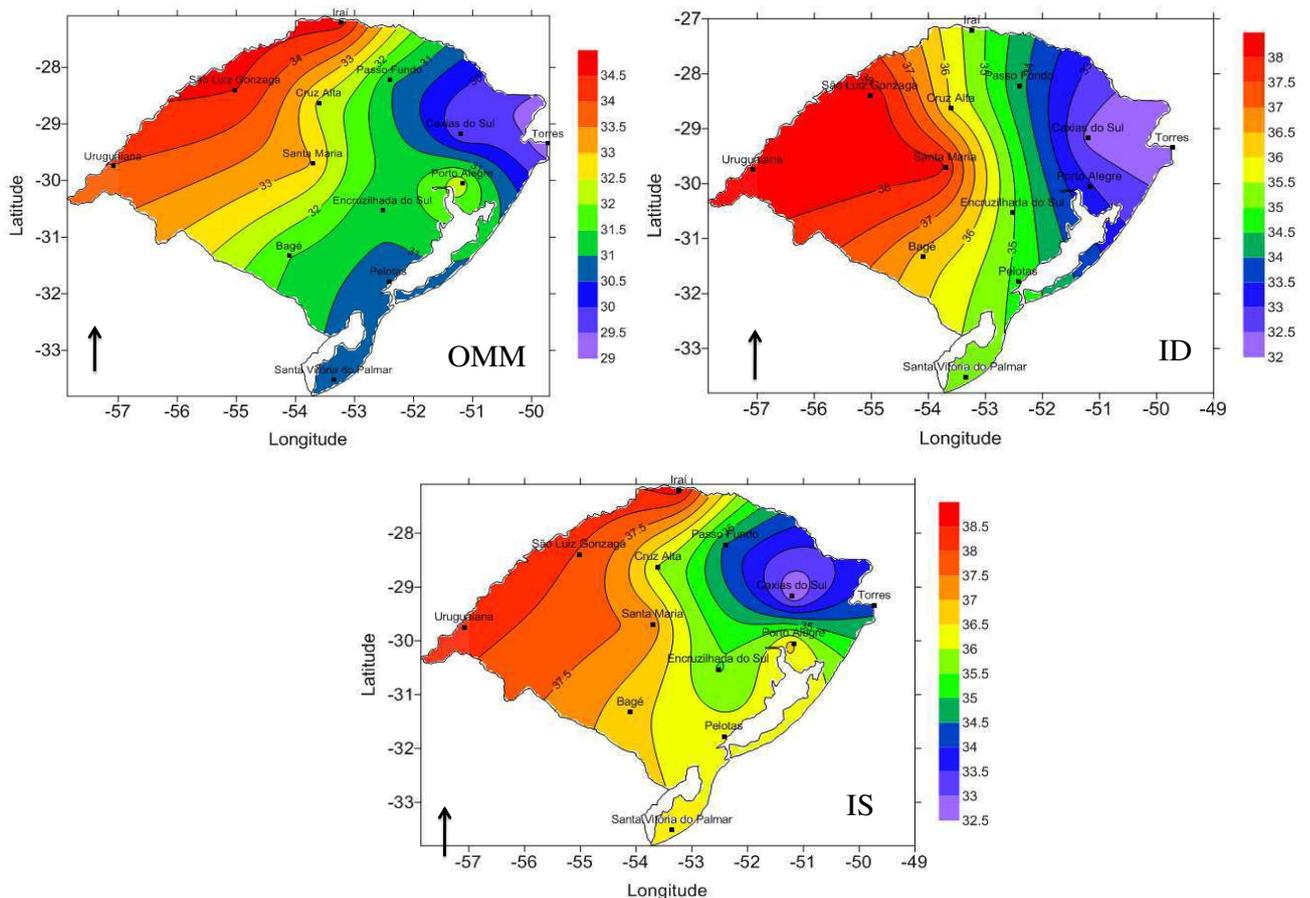


Figura 7 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) no verão dos dias com ondas de calor para os índices IOMM, ID e IS.

Para a estação do outono foram obtidas as Figura 8(a), (b) e (c) que mostram as configurações espaciais sazonais das médias climatológicas da temperatura máxima para os dias de ondas de calor, durante esta estação do ano, e em conformidade aos métodos IOMM, ID e IS. Fazendo uma comparação entre os índices pode-se observar que as temperaturas mais elevadas estão localizadas no noroeste do Estado, assim como para o verão e anual. Para os índices IOMM e IS (Figura 8(a) e (c)) a temperatura mais elevada é de  $34^{\circ}\text{C}$  e a menor é de  $30^{\circ}\text{C}$ , porém há uma pequena diferença quando se compara tais índices ao ID, a maior é de  $33^{\circ}\text{C}$  e a menor é de  $29^{\circ}\text{C}$ .

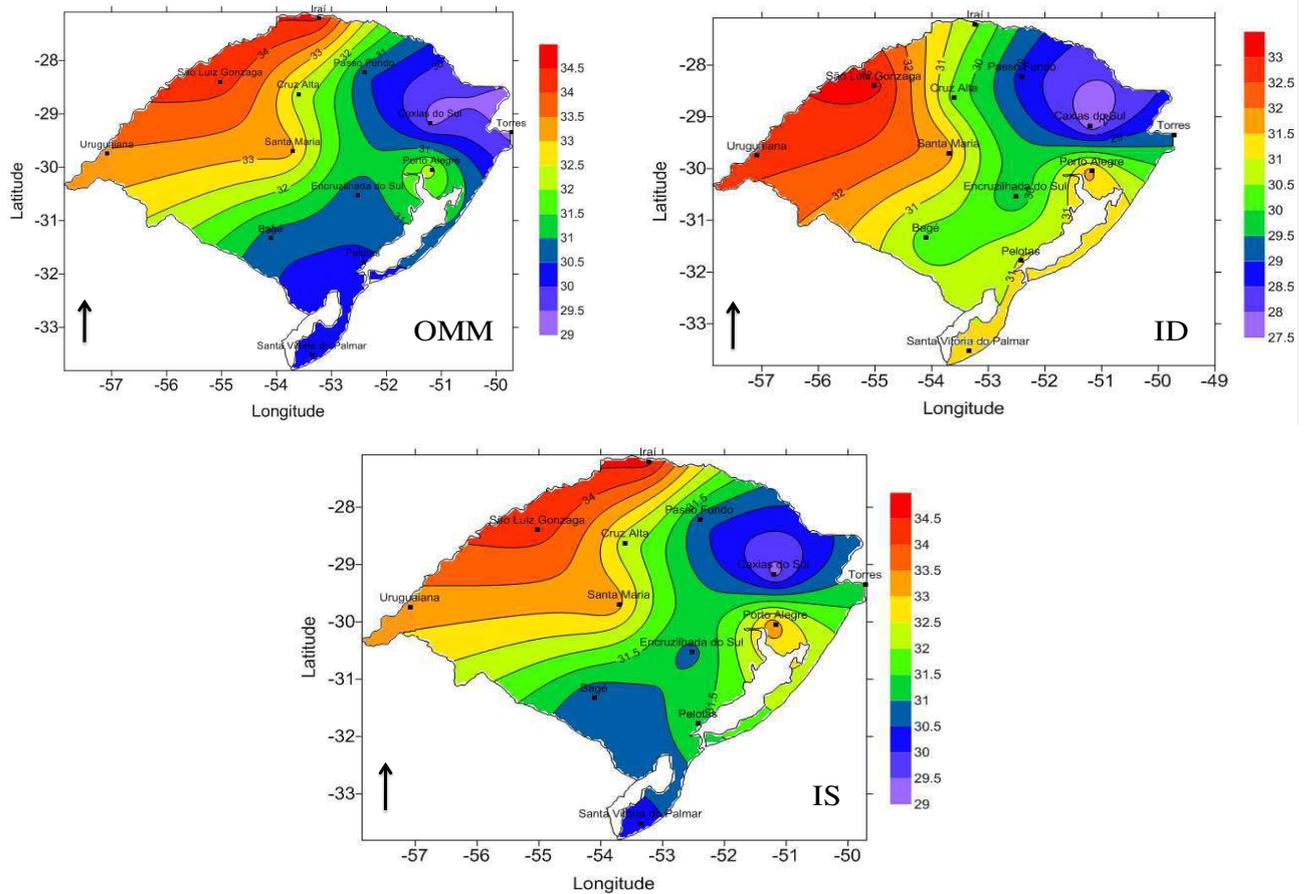


Figura 8 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) no outono dos dias com ondas de calor para os índices IOMM, ID e IS.

As Figuras 9(a), (b) e (c) apresentam a média climatológica sazonal da temperatura máxima diária dos dias de onda de calor durante o inverno obtida utilizando os métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Fazendo uma comparação entre os três métodos, verifica-se que as temperaturas do IOMM variam de 33 a  $29^{\circ}\text{C}$ , enquanto que os índices ID e IS apresentam valores quase que iguais com diferenças apenas na temperatura mais altas com 28 e  $29^{\circ}$  para ID e IS, respectivamente. Este resultado é decorrente da metodologia empregada, uma vez que para o IOMM estimam-se as ondas de calor a partir da temperatura máxima anual, enquanto, o IS usa-se a média da temperatura máxima durante o inverno, e ID a média das temperaturas máxima diárias dos dias de inverno. Contudo, ainda segue o padrão das demais estações, com as maiores temperaturas localizadas no noroeste do Estado e as menores no litoral.

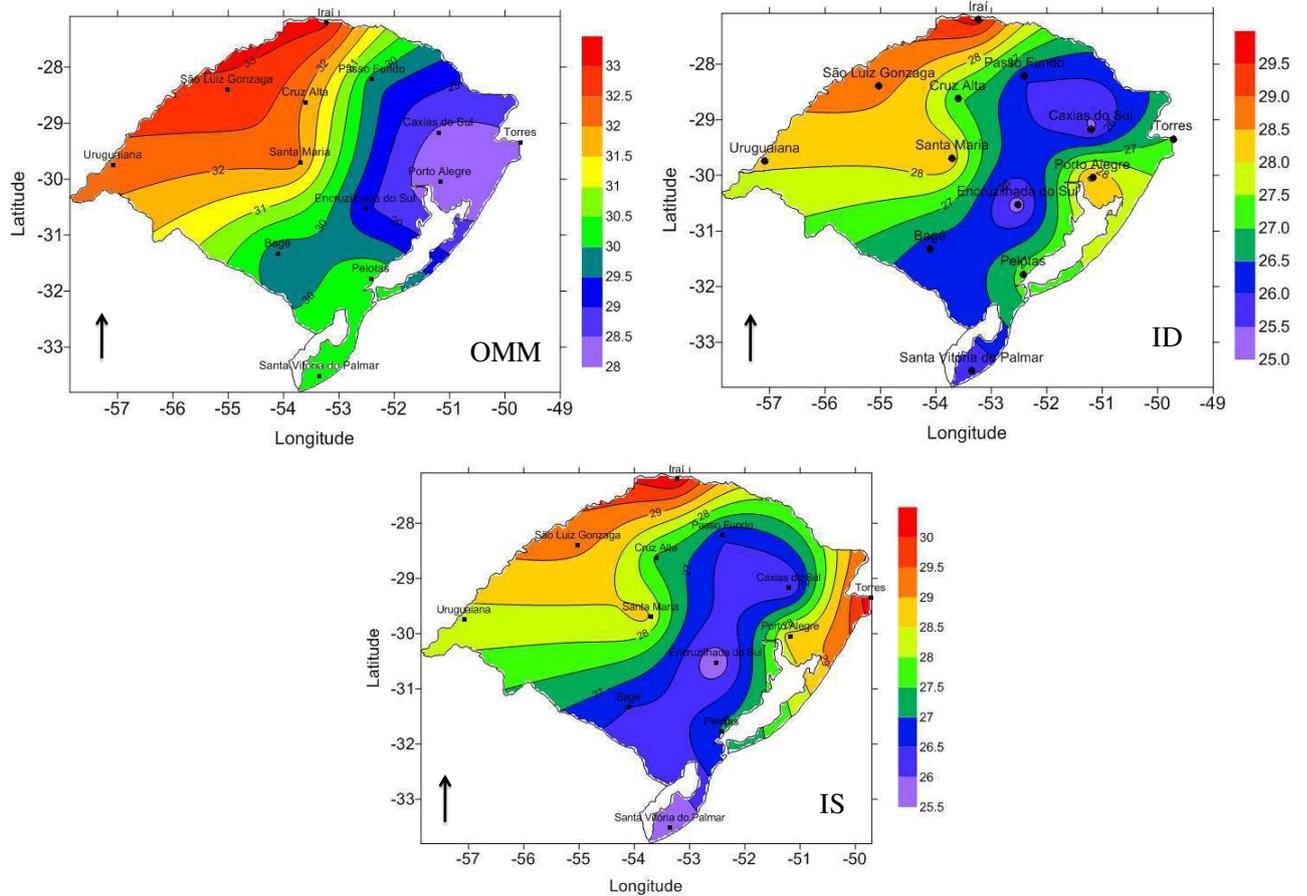


Figura 9 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) no inverno dos dias com ondas de calor para os índices IOMM, ID e IS.

As configurações espaciais das médias climatológicas da temperatura máxima sazonal dos dias de ondas de calor durante a primavera são mostradas nas Figuras 10(a), (b) e (c), obtidas pelos métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Nesta estação do ano não há uma diferença significativa entre os métodos, para o IOMM a temperatura varia de 29 a 34 $^{\circ}\text{C}$ , no ID a variação da temperatura esta entre 33 a 29 $^{\circ}\text{C}$  e para o IS a temperatura varia de 30 a 34 $^{\circ}\text{C}$ .

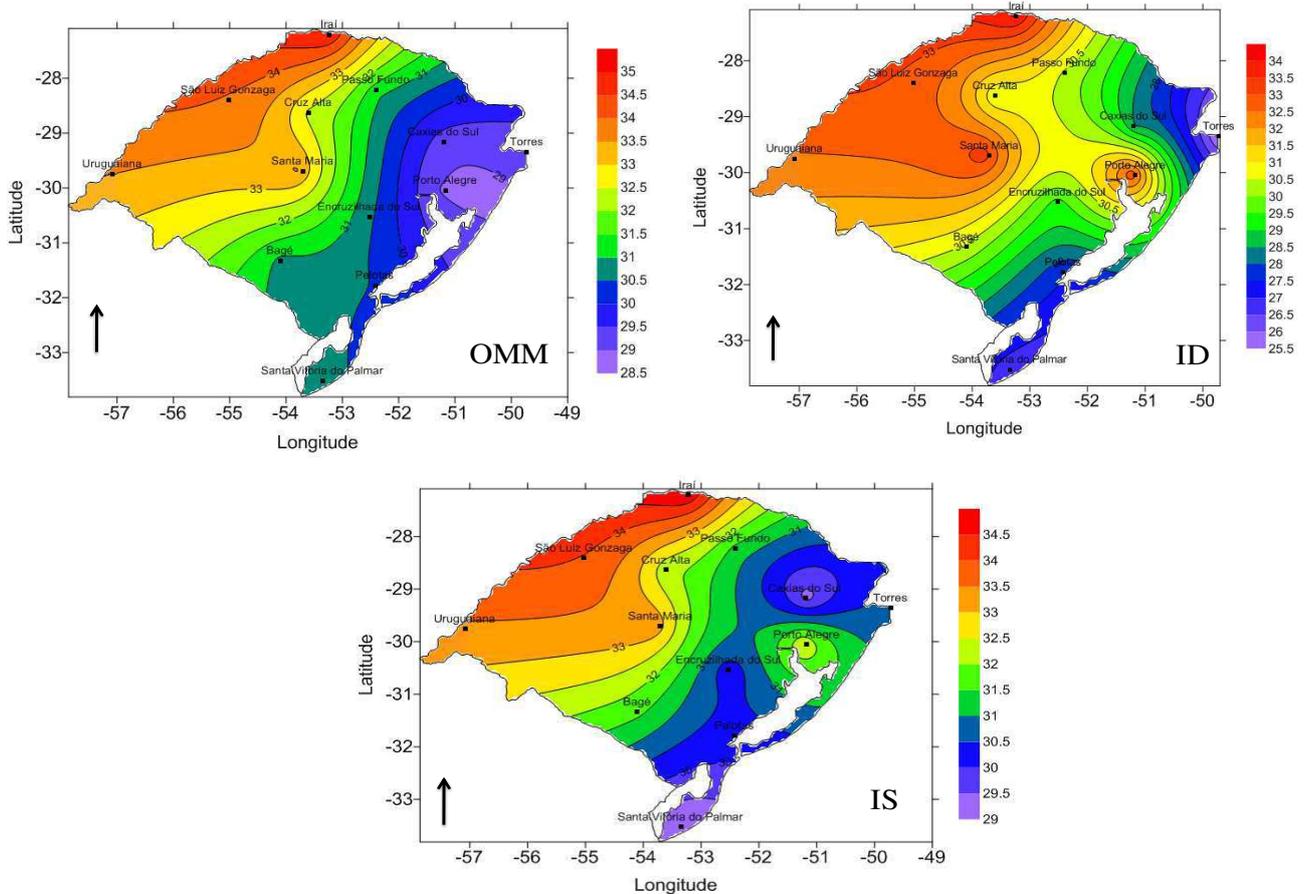


Figura 10 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura máxima (°C) na primavera dos dias com ondas de calor para os índices IOMM, ID e IS.

#### 4.1.2 Média Climatológica do Número de dias com Ondas de Calor

Outra importante consideração a respeito das ondas de calor, além das temperaturas, é à duração dos eventos. A concepção da duração corresponde a média do número de dias de todos os eventos registrados em cada localidade e por cada método.

Na Figura 11 tem-se a média anual do número de dias em que ocorreram ondas de calor para três índices, o IOMM, o ID e o IS para as localidades em análise. Comparando os índices, o IOMM apresenta valores bem acima dos demais índices, porém, os índices ID e IS estão com valores bem semelhantes. As cidades que se destacam pelas maiores quantidades de dias com ondas de calor para o IOMM é Bagé, apresentando 50 dias, seguido por Uruguaiana, São Luiz Gonzaga e Passo Fundo. O ID não segue a mesma sequência do IOMM, a cidade que se destaca é Passo Fundo, seguido de Bagé e Cruz Alta. Comparando o

IS com os demais índices verifica-se que assim como o IOMM Bagé é a localidade que se tem a maior quantidade de dias com ondas de calor, seguida de Passo Fundo e São Luiz Gonzaga.

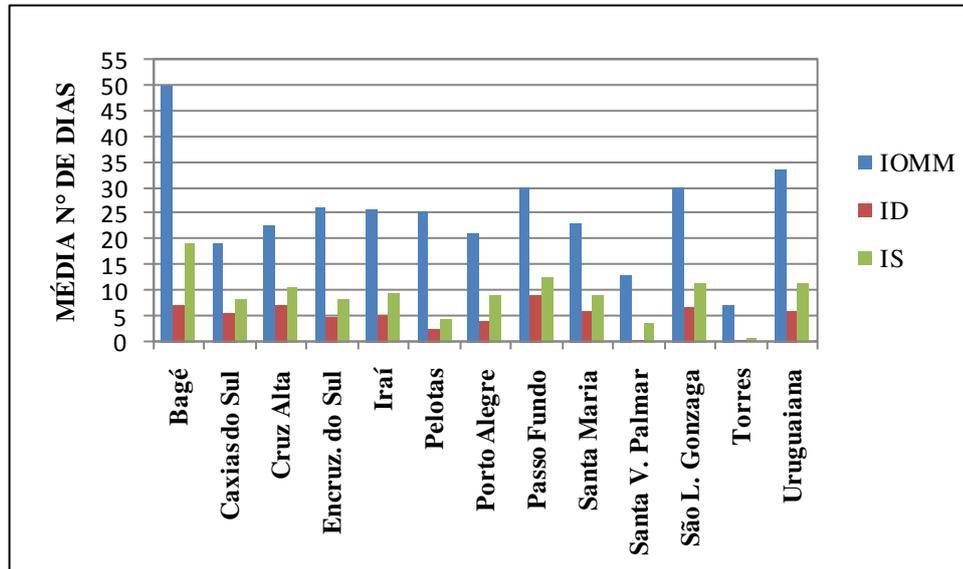


Figura 11 - Média climatológica anual do número de dias em que ocorreram ondas de calor por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Comparando os índices para o período do verão (dezembro-janeiro-fevereiro) (Figura 12) o método IOMM é o que permite identificar um maior número de ondas de calor nos municípios observados, os demais índices praticamente não apresentaram valores. Também se pode observar que assim como no anual no IOMM o município que se destaca quanto ao número elevado de dias com ondas de calor é Bagé, tal padrão pode ser explicado devido a sua localização e pela altitude do terreno, quanto menor a altitude maior as temperaturas e consequentemente maior a incidência de dias extremos de calor.

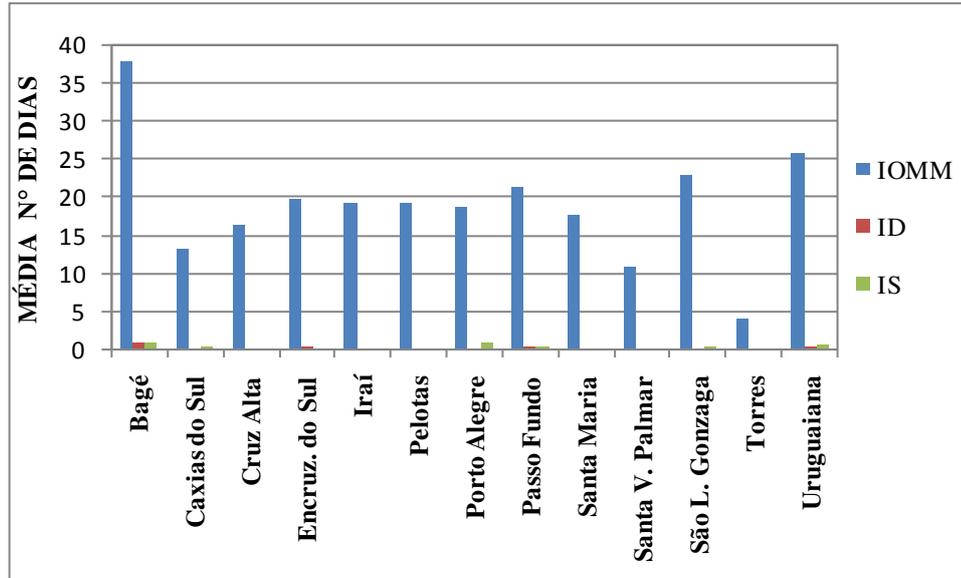


Figura 12 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o verão por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

A Figura 13 mostra a média do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o período do outono (março-abril-maio) com os critérios utilizados. Os índices IOMM e IS apresentam uma semelhança nos valores, entretanto, o ID encontra-se com valores bem abaixo dos demais índices. Destaca-se o município de Bagé com relação ao número de dias em ondas de calor para IOMM e IS, seguido de Uruguaiana, Pelotas e Passo Fundo. Analisando o ID verifica-se que o destaque está para o município de Cruz Alta, nos municípios de Torres e Santa Vitoria do Palmar não apresenta nenhum dia com ondas de calor, porém, nos demais índices apresentam valores consideráveis.

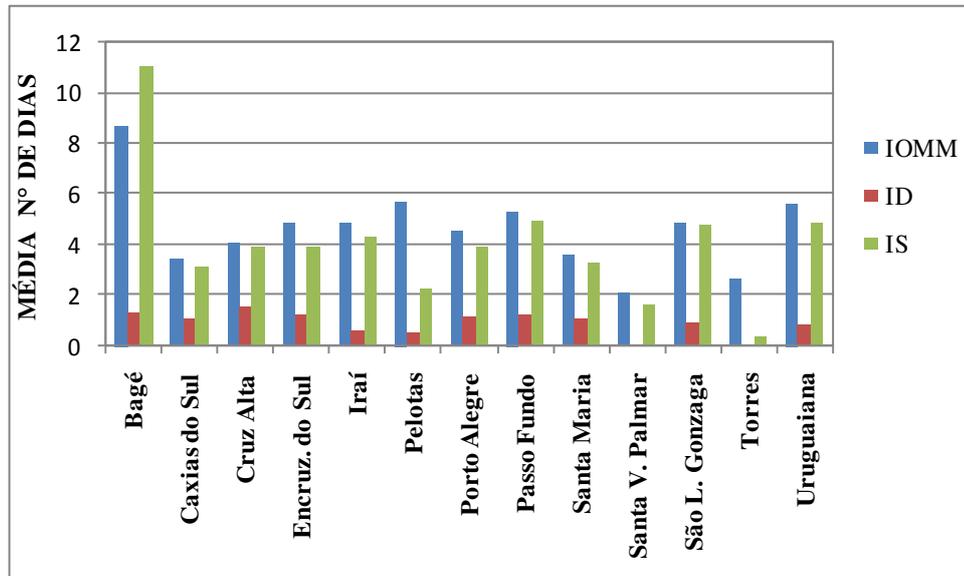


Figura 13 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o outono por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Para o período do inverno (junho-julho-agosto) tem-se a Figura 14 com o número de dias em que ocorreram ondas de calor. Comparando os métodos verifica-se o oposto com relação ao outono, os ID e IS apresentam valores muito semelhantes ou até mesmo iguais como os municípios de Uruguaiana com 4 dias e São Luiz Gonzaga também com 4 dias.

Ainda relacionando os índices, verifica que o IOMM é o que contém os menores valores de dias, entretanto, para as médias anual, verão e outono é o que apresenta os maiores valores, ou seja, não segue um padrão com relação aos índices nas demais estações. Para os índices ID e IS os maiores valores encontra-se em Passo Fundo (5 e 4 dias), Bagé (4 e 5 dias), São Luiz Gonzaga (4 e 4 dias) e Cruz Alta (4 e 4 dias).

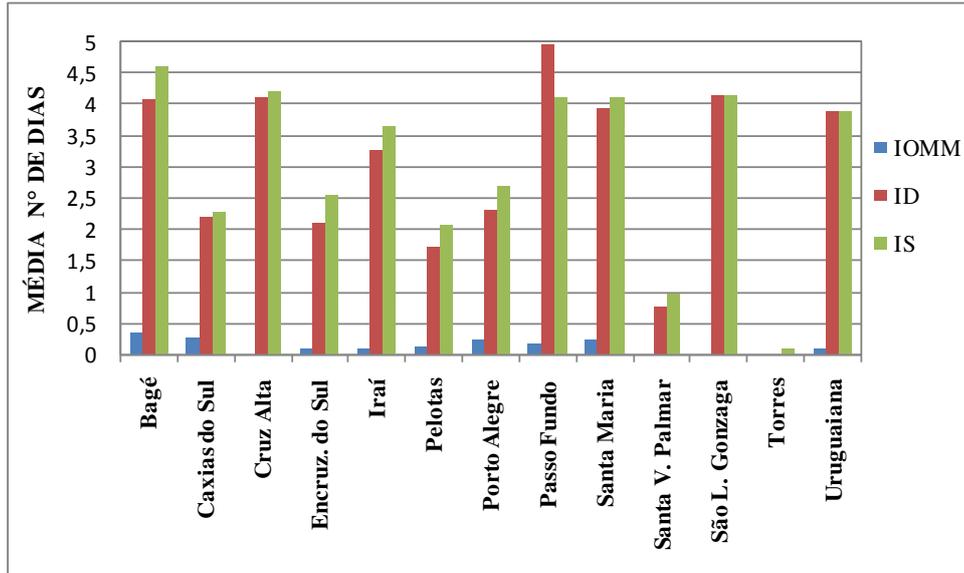


Figura 14 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para o inverno por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Finalmente, durante a primavera a quantidade de dias com ondas de calor entre os três métodos é o mais semelhante comparando com as demais estações isso pode ser verificado na Figura 15. Para o IOMM os maiores valores encontram-se em Passo Fundo, Bagé e São Luiz Gonzaga. A mesma ordem é verificado para o IS, porém com uma diferença apenas nos valores. Para o ID a sequência dos maiores valores são: Passo Fundo, Caxias do Sul e São Luiz Gonzaga. Para os três índices destaca-se o município de Passo Fundo com relação ao número de dias em ondas de calor no período do inverno com temperatura de  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ .

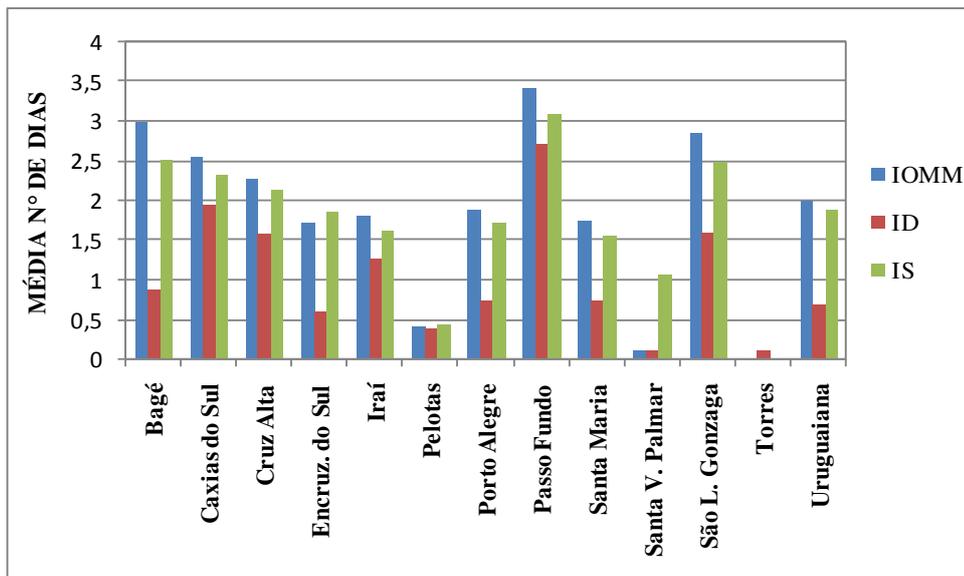


Figura 15 - Média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de calor para a primavera por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Será feita uma análise comparativa do número de dias em que ocorreu ondas de calor para os métodos IOMM e RClindex, devido à existência de falhas nas séries de dados, a análise será realizada apenas para as localidades de Passo Fundo (Tabela 1) e Bagé (Tabela 2).

Na Tabela 1 tem-se o número anual de dias em que houve ondas de calor para a localidade de Passo Fundo, no período de 1961 a 2010 identificados pelos métodos RClindex e IOMM. Inicialmente verifica-se que há uma diferença bastante significativa, pois o método IOMM apresenta valores em todos os anos, e o RClindex apresenta apenas em alguns anos.

Tabela 1- Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de calor entre os métodos RClindex e IOMM para a localidade de Passo Fundo no período de 1961 a 2010.

ANOS	RClindex	IOMM	ANOS	RClindex	IOMM
1961	0	38	1986	0	26
1962	0	38	1987	0	31
1963	13	32	1988	8	31
1964	0	33	1989	0	16
1965	0	18	1990	0	34
1966	0	26	1991	0	31
1967	0	17	1992	0	5
1968	6	47	1993	0	13
1969	0	24	1994	6	41
1970	18	48	1995	6	30
1971	13	34	1996	0	20
1972	7	35	1997	0	35
1973	6	13	1998	0	6
1974	-	26	1999	0	44
1975	7	14	2000	0	22
1976	0	23	2001	-	6
1977	0	52	2002	0	22
1978	8	49	2003	6	27
1979	14	34	2004	0	20
1980	6	21	2005	8	60
1981	10	19	2006	6	42
1982	0	30	2007	7	37
1983	0	39	2008	0	43
1984	7	49	2009	8	34
1985	18	55	2010	-	25

Para o RClindex os anos em que houve maior número de ondas foram 1963, 1970, 1971, 1979, 1981e 1985 com 13, 18, 13, 14, 10 e 18 respectivamente. Já para o IOMM os anos em que ocorreram as maiores quantidades de dias com ondas de calor foram 1970 (48 dias), 1977 (52 dias), 1978 (49 dias), 1984 (49 dias), 1985 (55 dias), 1994 (41 dias), 1999 (44 dias). 2005(60 dias), 2006 (42 dias) e 2008 (43 dias). Entretanto há dois anos em que os dois métodos coincidem com alto número de dias, dos quais são 1970 e 1985. Foram vinte anos entre 1961 e 2010 em os dois índices coincidiram em relatar ondas de calor. De modo geral, de acordo com a tabela 1 o IOMM é o método que representou o maior número de ondas de calor em Passo Fundo.

Na Tabela 2 tem-se o número anual de dias em que houve ondas de calor para a localidade de Bagé, no período de 1961 a 2010 para os métodos RClindex e IOMM.

Tabela 2 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de calor entre os métodos RClindex e IOMM para a localidade de Bagé no período de 1961 a 2010.

ANOS	Rclindex	IOMM	ANOS	Rclindex	IOMM
1961	0	60	1986	14	74
1962	0	59	1987	-	60
1963	0	43	1988	8	93
1964	0	35	1989	6	116
1965	7	75	1990	13	51
1966	0	38	1991	6	79
1967	0	43	1992	0	56
1968	0	86	1993	0	77
1969	6	39	1994	7	58
1970	12	74	1995	0	78
1971	-	46	1996	0	77
1972	0	59	1997	0	62
1973	0	40	1998	0	37
1974	0	25	1999	0	63
1975	0	55	2000	0	45
1976	0	48	2001	-	0
1977	0	65	2002	0	0
1978	0	63	2003	0	0
1979	7	85	2004	0	0
1980	16	83	2005	7	0
1981	0	58	2006	0	0
1982	0	73	2007	6	0
1983	-	67	2008	0	0
1984	-	54	2009	0	0
1985	-	96	2010	-	0

O número anual de dias em que ocorreu ondas de calor em Bagé para os métodos RCLimdex e IOMM estão dispostos na Tabela 2. Para o RCLimdex os anos com os maiores números de dias com ondas foram: 1970 (12 dias), 1980 (16 dias), 1986 (14 dias) e 1990 (13 dias). Bem como para Passo Fundo (Tabela 1) o IOMM também apresenta o maior número de ondas de calor para Bagé (Tabela 2), chegando há 116 dias com ondas de calor no ano de 1989, enquanto o RCLimdex apresentou 16 dias no ano de 1980, tal ano foi o único que coincidiu de haver dias com ondas de calor nos dois índices, porém com valores distintos.

#### **4.1.3 Relação dos eventos de El Niño e da La Niña sobre as ondas de calor**

A seguir são apresentados o número de ondas de calor em cada localidade e a média espacial dos mesmos (soma do número de ondas de calor de todas as localidades dividido pelo número de localidades), denominada de RS (Rio Grande do Sul). Usou-se as ondas de calor detectadas pelo método IOMM. Realizou-se uma associação qualitativa entre as ondas de calor anual para as 13 localidades e os eventos de El Niño e La Niña, com o intuito de verificar se haveria uma relação entre estes.

Na Tabela 3 são apresentados o número de ondas de calor ocorridas em cada ano e por localidade de acordo com o método IOMM, com anos de El Niño (vermelho), de La Niña (azul) e neutros (cinza). Os anos em que ocorreram as maiores médias de ondas de calor foram os anos considerados neutros (1961, 1962, 1964, 1968, 1970, 1971, 1978, 1993, 1994, 2003, 2005, 2006 e 2009), seguidos de anos de El Niño (1963, 1965, 1969, 1977, 1983, 1991, 1992, 1994, 1997, 2002 e 2004) e La Niña (1996, 1999, 2000, 2007, 2008 e 2010), ou seja, em aproximadamente 80% dos anos de El Niño, 60% dos neutros e 40% dos de La Niña ocorrem ondas de calor. Entretanto, os anos em que houve as maiores médias do número de ondas de calor foram os anos de 2005 e 2007 com 5,8 e 5,5 respectivamente, porém não é verificado nenhum padrão com relação a eventos de El Niño com as ondas de calor.

Tabela 3 – Distribuição anual por localidade e média espacial do número de ondas de calor conforme o método IOMM de 1961 a 2010. Os anos foram agrupados em: Neutros (cinza), El Nino (vermelho) e La Nina (azul).

ANOS	BG	CS	CA	ES	IRA	PF	PE	PA	SM	SVP	SLG	TOR	URU	MÉDIA RS	ENOS
1961	6	4	2	2	4	4	2	5	6	2	3	0	4	3	
1962	6	5	4	1	6	6	1	2	7	2	6	0	7	4	
1963	5	4	4	3	7	6	4	5	5	3	5	0	4	4	
1964	5	3	5	0	7	4	2	2	3	2	3	0	6	3	
1965	5	4	5	2	6	4	2	3	4	2	2	0	4	3	
1966	4	4	1	2	3	3	2	2	3	1	2	0	2	2	
1967	5	2	2	2	2	1	3	3	1	5	3	0	3	2	
1968	7	8	4	5	3	6	3	5	1	4	6	0	8	5	
1969	5	4	3	0	4	4	2	4	2	6	5	0	5	3	
1970	7	7	4	4	2	6	4	7	5	3	4	2	5	5	
1971	7	3	1	3	3	4	2	5	5	2	3	3	6	4	
1972	6	2	4	3	1	6	2	4	2	1	3	0	4	3	
1973	5	1	1	2	1	3	5	3	4	0	2	0	4	2	
1974	3	2	2	3	3	3	1	4	2	0	2	0	5	2	
1975	8	2	2	3	1	2	2	1	3	3	2	0	6	3	
1976	5	2	2	2	3	3	6	3	2	0	2	2	4	3	
1977	10	1	5	4	4	8	4	5	6	2	7	0	5	5	
1978	7	2	3	3	4	7	2	1	3	3	6	0	6	4	
1979	7	2	2	1	0	5	3	2	1	0	2	0	0	2	
1980	8	2	3	3	2	4	3	1	0	2	2	2	5	3	
1981	8	2	1	4	2	4	1	0	0	1	0	0	4	2	
1982	9	2	1	4	0	3	4	2	0	3	0	0	8	3	
1983	7	5	3	6	0	5	3	5	0	1	0	0	5	3	
1984	4	2	0	0	0	6	5	6	0	2	0	0	0	2	
1985	7	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	1	
1986	8	0	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	1	
1987	6	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	1	
1988	10	0	1	4	0	4	7	5	0	3	0	1	0	3	
1989	6	0	3	3	0	2	8	5	0	6	0	0	4	3	
1990	4	0	0	0	3	5	2	2	0	0	0	0	0	1	
1991	9	2	4	6	3	5	3	6	1	0	7	0	0	4	
1992	8	1	1	6	4	1	5	5	4	1	6	0	5	4	
1993	10	4	2	4	2	3	5	3	2	4	6	1	5	4	
1994	7	0	4	3	1	3	4	4	4	4	7	0	6	4	
1995	10	1	2	6	5	4	4	5	6	3	2	3	7	4	
1996	8	5	4	4	2	4	1	3	4	1	6	3	4	4	
1997	5	3	3	4	5	2	4	5	4	4	5	1	5	4	
1998	6	2	1	4	4	3	2	3	2	1	4	1	1	3	
1999	5	1	5	2	5	5	1	4	4	0	8	2	6	4	
2000	5	4	3	5	5	4	3	3	3	1	6	1	5	4	
2001	0	4	2	1	2	0	0	0	1	0	3	4	1	1	
2002	0	4	5	4	4	3	0	5	5	0	4	3	3	3	
2003	0	2	3	4	3	5	4	4	4	3	4	3	3	3	
2004	0	2	3	7	5	2	5	4	6	2	9	1	6	4	
2005	0	4	6	7	7	9	5	7	9	3	13	0	5	6	
2006	0	4	4	6	8	3	6	5	6	3	7	5	6	5	
2007	0	3	6	7	5	6	7	6	8	3	11	2	7	5	
2008	0	1	5	5	4	6	8	6	7	1	6	1	9	5	
2009	0	5	4	5	5	5	7	5	5	2	7	0	7	4	
2010	0	1	3	3	3	5	5	5	5	2	5	2	2	3	

Nota: Os significados das siglas estão listados no Quadro 1.

A Tabela 4 mostra as médias e os desvios padrão do número de ondas de calor média anual do Rio Grande do Sul nos anos de El Niño, La Niña e Neutros. Observa-se que em média ocorre uma quantidade maior de ondas de calor nos períodos de El Niño, seguido do neutro e, por fim de La Niña. Entretanto, a Tabela 5 mostra os valores calculados de t-Student para as comparações das médias do número de ondas de calor no Rio Grande do Sul em anos de La Niña, El Niño e Neutro. Observa-se que as diferenças observadas entre as médias para os três diferentes períodos não apresenta significância estatística, pois para se ter significância de 95% o t calculado deveria ser igual ou superior a 2,14, ou seja, não é possível afirmar categoricamente que nos anos de El Niño ocorre um número maior de ondas de calor que nos anos neutros e de La Niña.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões do número de ondas de calor em anos Neutro, de El Niño e de La Niña.

	<b>Neutro</b>	<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>
Média	3,23	3,38	3,15
Desvio Padrão	1,26	0,81	1,08
Nº de Anos	22	14	14

Tabela 5 - Valores calculados de t-Student para comparação das médias do número de ondas de calor durante os anos Neutro, de El Niño e de La Niña

	<b>Neutro</b>	<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>
Neutro		0,44	0,20
El Niño	0,44		0,64
La Niña	0,20	0,64	

## 4.2 Análise das Ondas de Frio

### 4.2.1 Climatologia da temperatura mínima anual e estacional dos dias com ondas de frio

Nas Figuras 16(a), (b) e (c) são mostradas as configurações espaciais da média da temperatura mínima média climatológica anual dos dias com ondas de frio, usando os métodos IOMM, ID e IS, respectivamente.

Para os três métodos, fica evidente uma zona com maiores valores médios de temperatura mínima durante as ondas de frio no litoral, se estendendo da localidade de Torres e até Pelotas. Enquanto, as áreas com menores valores de temperatura mínima estão localizadas no oeste do Estado. Outra região onde a temperatura mínima apresenta valores um pouco mais elevados é a que abrange as localidades de São Luiz Gonzaga e Uruguaiana. Também se verifica que para todos os métodos há uma zona fria em torno de Bagé que se estende, de forma mais amena, em direção ao centro do estado, afetando Passo Fundo e Encruzilhada do Sul, ressalta-se, também, que as temperaturas mínimas mais baixas encontram-se na região Sul do Estado.

As distribuições espaciais dos valores de temperatura média climatológica mínima para o verão dos dias com ondas de frio estão representadas nas Figuras 17(a), (b) e (c). Para esta estação o IOMM não apresentou ondas de frio e conseqüentemente não há as médias de temperatura durante este período.

Ao comparar o ID com o IS observa-se valores bem semelhantes, com médias de temperatura variando entre 10 e 13°C. A diferença maior entre eles é a distribuição da temperatura, por exemplo, para o IS (Figura 17b) a área em torno de São Luiz Gonzaga apresenta valor bem mais alto do que no ID (Figura 17a). Porém, em Porto Alegre, ambos os índices apresenta os mesmos valores, de modo geral há mais semelhanças do que diferenças entre as configurações espaciais dos três métodos durante o verão.

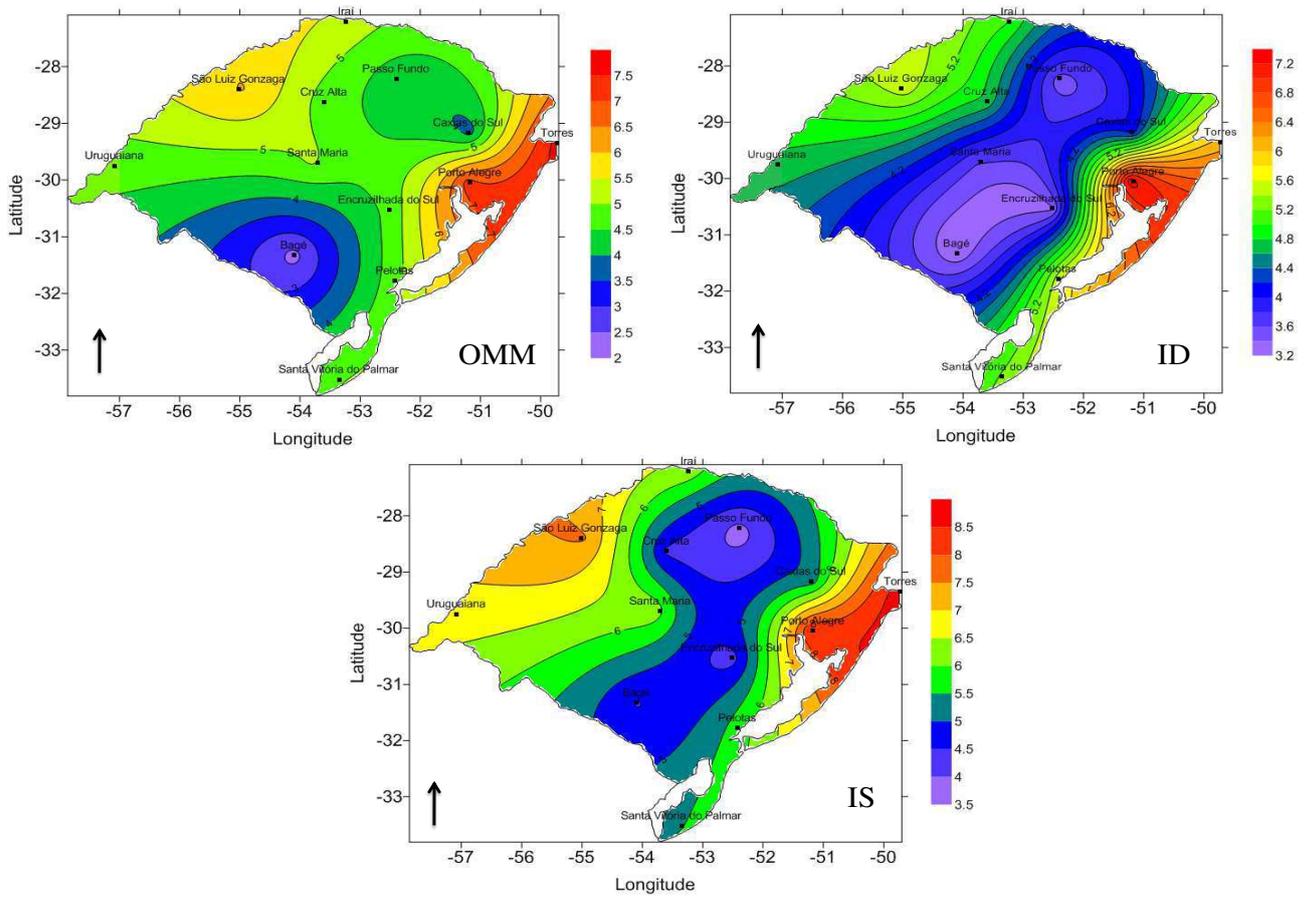


Figura 16 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima anual dos dias com ondas de frio para os índices IOMM, ID e IS.

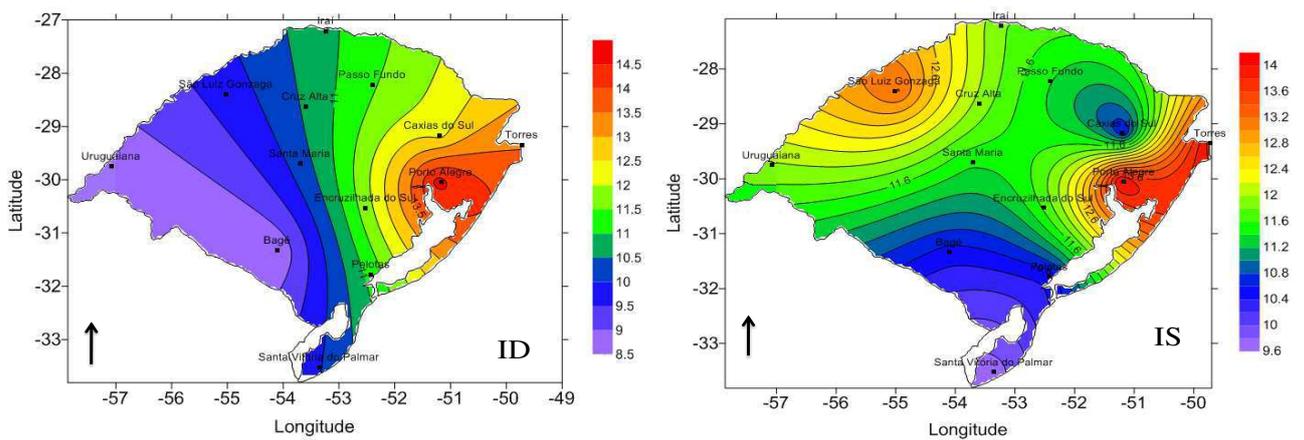


Figura 17 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima no verão dos dias com ondas de frio para os índices de (a) IOMM, (b) ID, (c) IS.

As Figuras 18(a), (b) e (c) mostram as distribuições espaciais dos valores de temperatura média climatológica mínima dos dias com onda de frio no outono. Fazendo uma comparação entre os três métodos, verifica-se que há um mesmo padrão com relação aos

níveis e localização das temperaturas, por exemplo, na região onde fica localizado Bagé há um núcleo com a menor temperatura registrada no Estado. Também nota-se em ambos os métodos que as maiores temperaturas encontram-se ao redor de Porto Alegre e Torres. Para o IS (Figura 18c) encontra-se um núcleo de temperatura elevada exatamente sobre São Luiz Gonzaga.

Nas Figuras 19 (a), (b) e (c) são mostradas as configurações da distribuição espacial da temperatura média climatológica mínima dos dias com ondas de frio no inverno de acordo com os métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Ao comparar os resultados obtidos pelos três métodos nota-se que há uma diferença significativa nas médias, o IOMM apresenta valores mais altos que os demais. Tanto para o IOMM (Figura 19a) quanto para o ID (Figura 19b) a área com temperaturas mais baixas se encontra em torno de Bagé, bem como encontra nas estações já analisadas. Já para o IS (Figura 19c) Bagé deixa de apresentar temperatura mais baixa, com relação ao restante do Estado, porém continua seguindo o padrão das maiores temperaturas estarem concentradas em torno de Passo Fundo, Cruz Alta e Torres.

Nas Figuras 20(a), (b) e (c) apresentam as distribuições espaciais dos valores de temperatura média climatológica mínima dos dias com ondas de frio durante a primavera para os métodos IOMM, ID e IS, respectivamente. Para o IOMM e IS os valores e as configurações espaciais são praticamente iguais, já para o ID estão bem abaixo dos demais índices. Os três métodos apresentam o mesmo padrão das estações verão, outono e inverno, onde existe uma zona com temperaturas mais baixas em torno de Bagé, seguindo por Encruzilhada do Sul até Caxias do Sul, além disso, há um trecho permanente com temperaturas mínimas mais altas em torno Torres e Porto Alegre, do qual se estende até o Litoral Norte, observa também temperaturas um pouco mais elevadas por volta de São Luiz Gonzaga, Uruguaiana e Iraí.

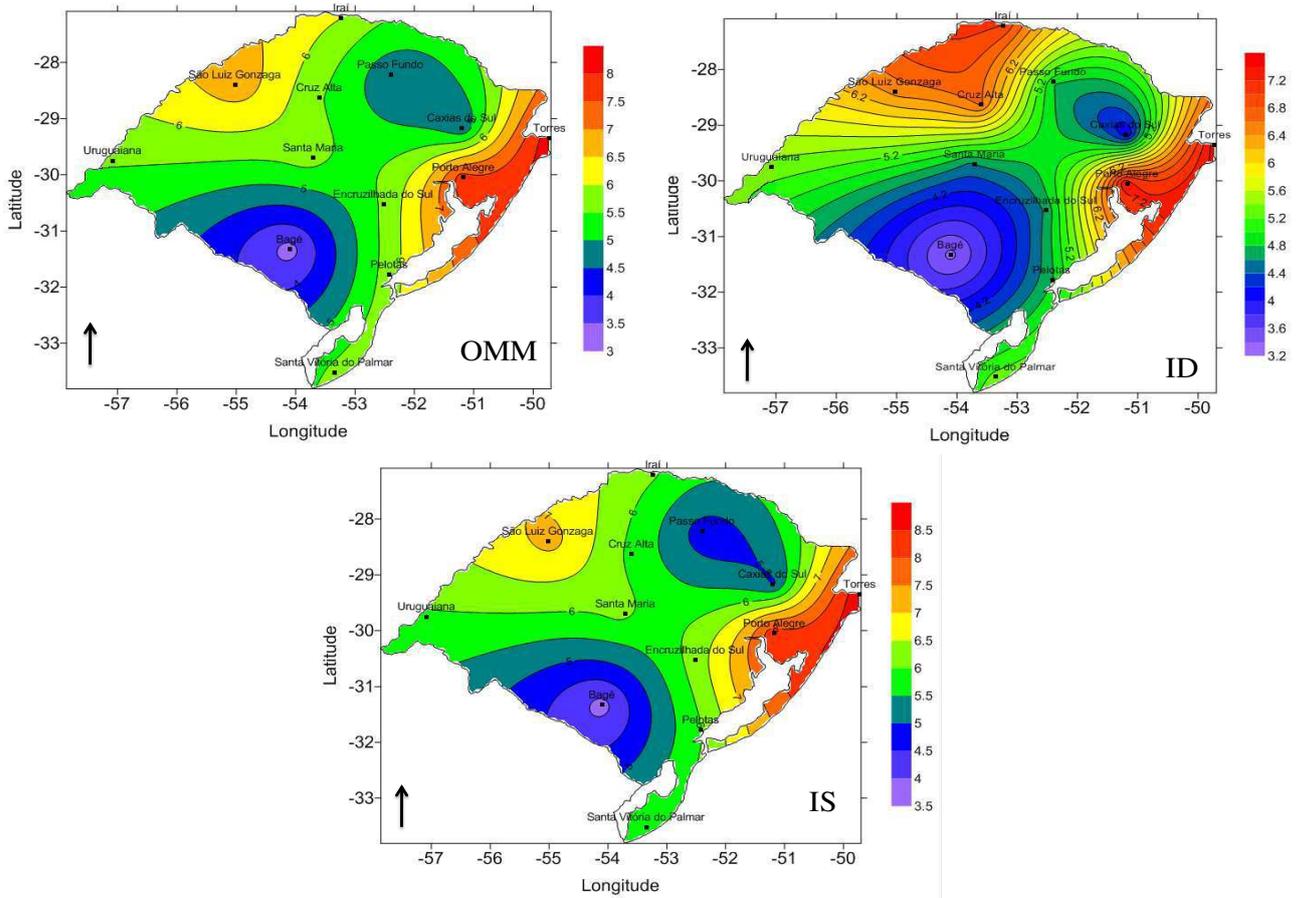


Figura 18 – Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima (°C) no outono dos dias com ondas de frio para os índices IOMM, ID e IS.

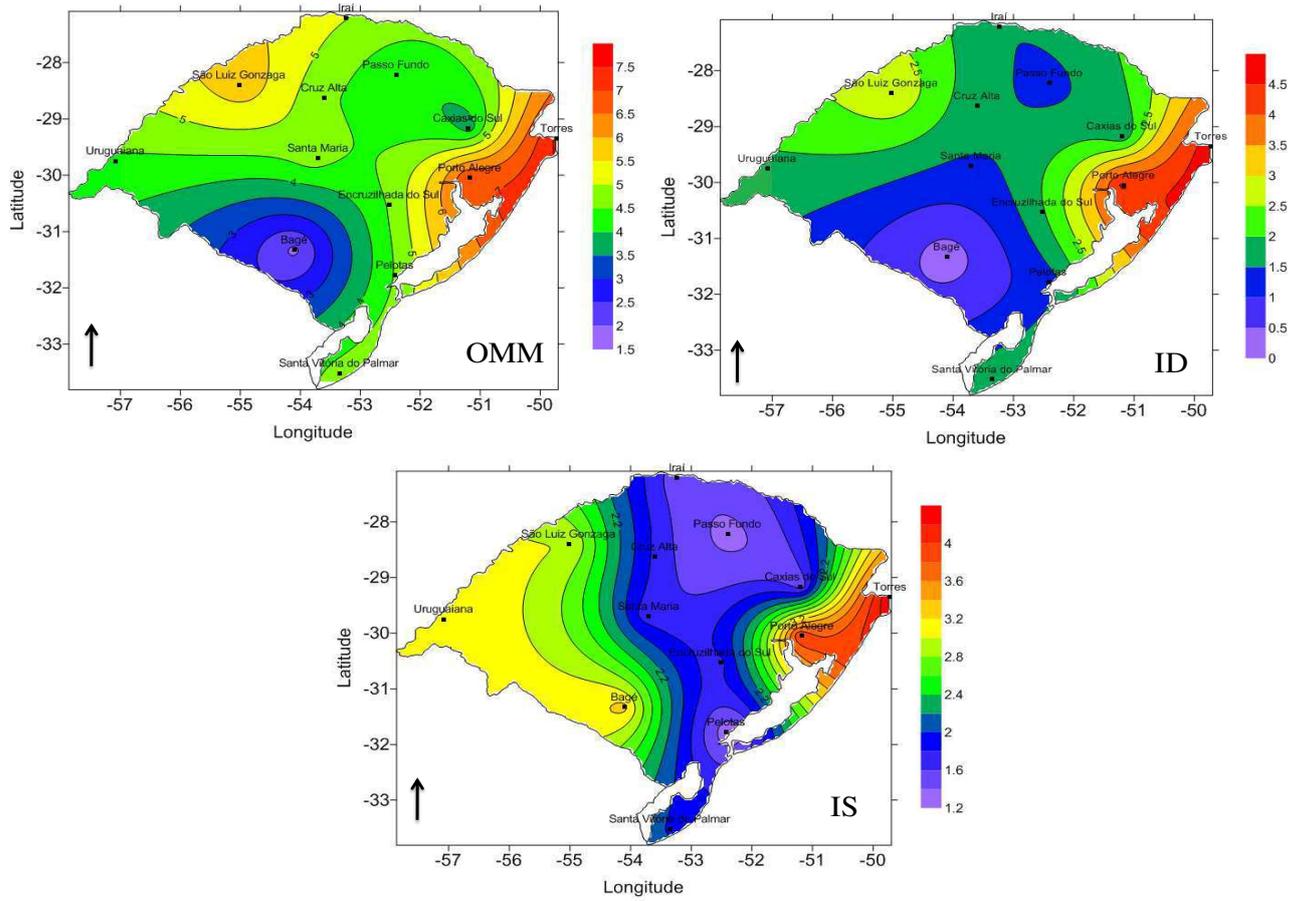


Figura 19 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima (°C) no inverno dos dias com ondas de frio para os índices IOMM, ID e IS.

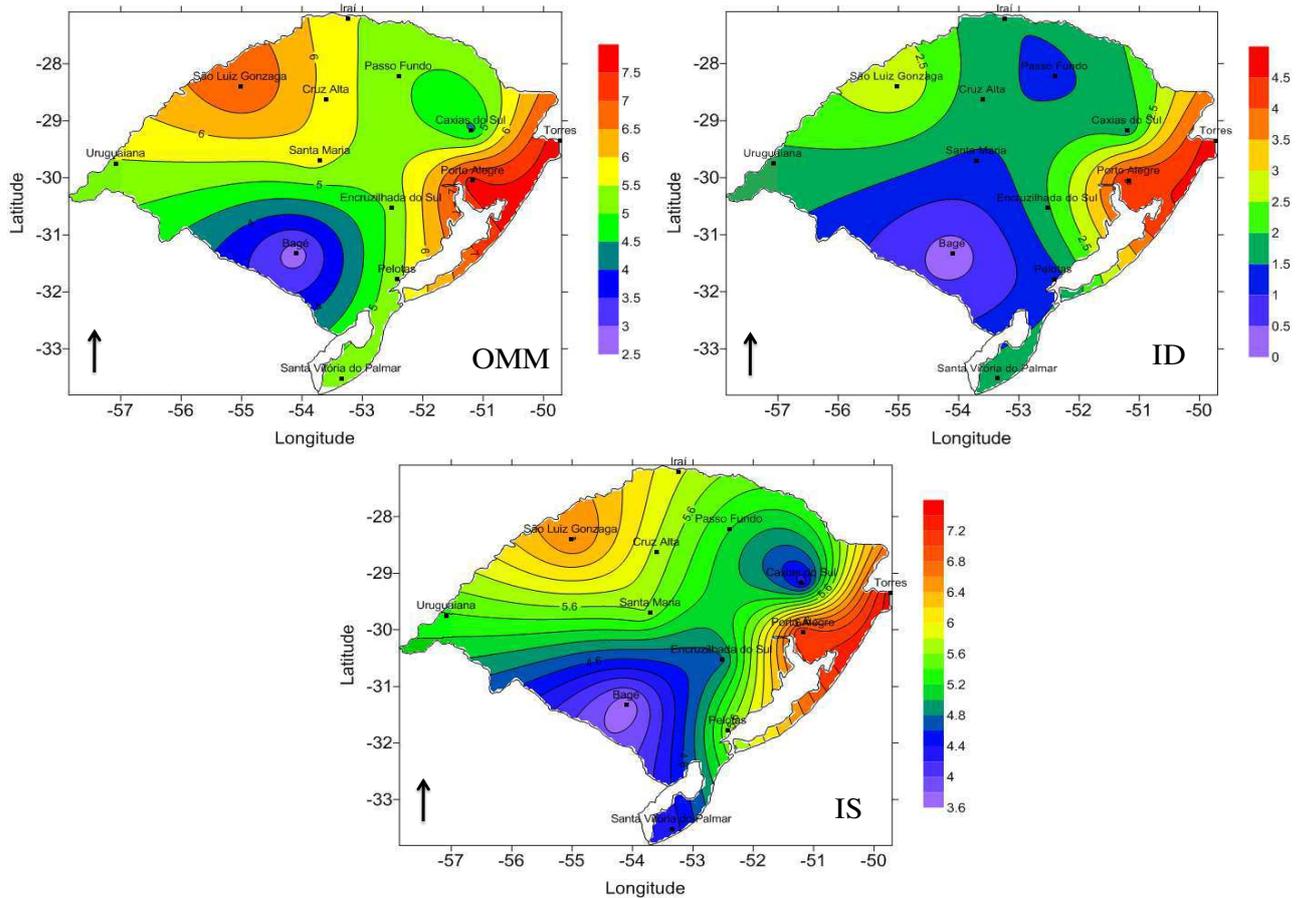


Figura 20 - Distribuição espacial das médias climatológicas de temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) na primavera dos dias com ondas de frio para os índices IOMM, ID e IS.

#### 4.2.2 Média Climatológica do Número de Ondas de Frio

A elaboração de gráficos com relação à ocorrência de dias em que ocorreram as ondas de frio permite uma melhor visualização e quantificação dos resultados, dos quais permitem distinguir as características destes eventos climáticos, tendo por alusão a série histórica que compreende o período de 1961 a 2010.

Na Figura 21 tem-se a média climatológica anual do número de dias em que ocorreram ondas de frio baseado no cálculo dos três índices, o IOMM, o ID e o IS para as localidades em análise. O IOMM apresenta valores bem acima dos demais índices, no entanto, os índices ID e IS estão com valores bem semelhantes. As cidades de Pelotas e Uruguaiana se destacam pelas maiores quantidades de dias com ondas de frio para o IOMM, seguido por Porto Alegre e Santa Vitoria do Palmar. O ID não segue a mesma sequência do IOMM, a cidade que se

destaca é Bagé, seguido de Iraí. Para o IS verifica-se que onde há maior número de dias com ondas de frio é Iraí, seguido por Uruguaiiana e Bagé.

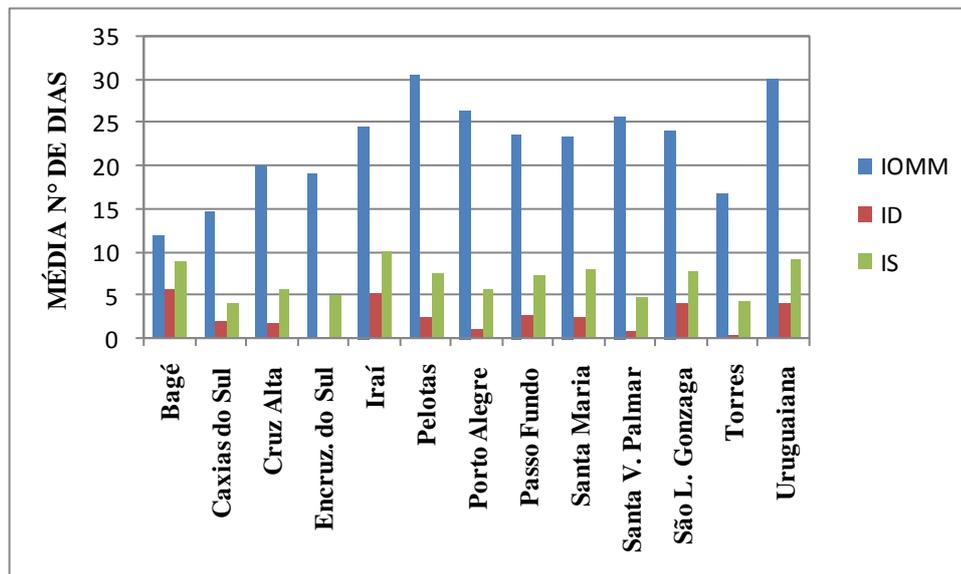


Figura 21 – Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio anual por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Ainda na Figura 21, ao comparar os métodos (ID e IS), nota-se que as localidades de Bagé e Passo Fundo possuem os mesmos valores. Para o ID as localidades que se destaca quanto ao maior número de dias com ondas de frio é Caxias do Sul, seguido de Pelotas, já para o IS o destaque é para Santa Maria e Pelotas, seguido por Santa Vitoria do Palmar.

A Figura 22 expõe a média climatológica do número de dias em que ocorreram ondas de frio no verão para os métodos IOMM, ID e IS por localidades para o período de 1961 a 2010. Ao comparar os três métodos, observa-se que o IOMM não exibe nenhum dia com ondas de frio para nenhuma localidade, já para o ID e IS as localidades que não tem dias com ondas foram Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Passo Fundo e Uruguaiiana, porém, o ID ainda há mais outras localidades que não tiveram ondas de frio que são: Iraí, Santa Maria, São Luiz Gonzaga e Torres. As localidades onde houve as ondas de frio verifica-se que é bem pequena a quantidade de dias com ondas, o fato de quase não ocorrer ondas de frio no verão é devido ao fato das temperaturas serem altas nessa estação do ano.

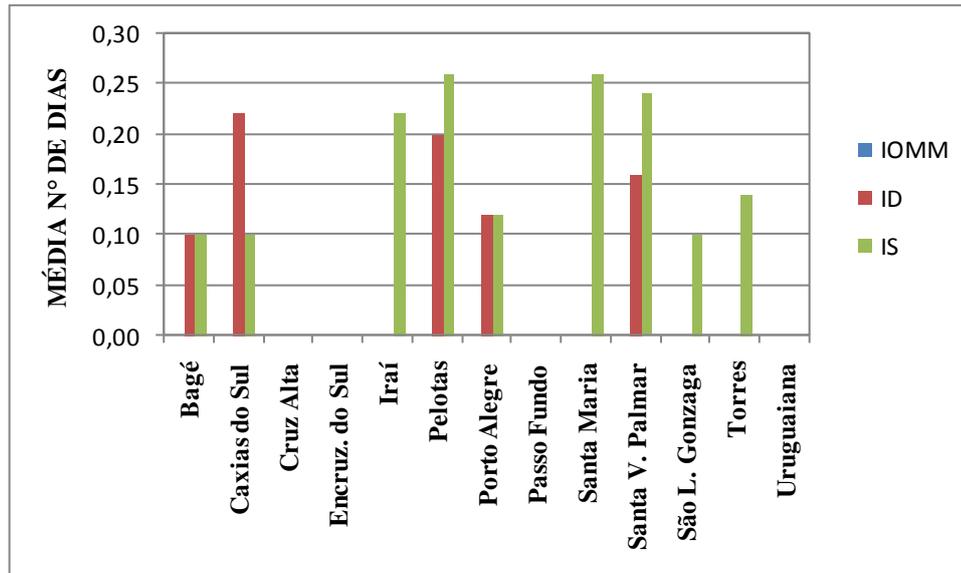


Figura 22 - Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o verão por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Analisando a Figura 23 observa-se que durante o outono há um comportamento pouco homogêneo entre os índices IOMM e o ID, com valores de duração oscilando ao longo da série, porém, verifica-se que há uma semelhança significativa entre os IOMM e IS, sendo que o sazonal na maior parte das vezes tem valores um pouco acima do IOMM. Para o ID a localidade com o maior número de dias em que ocorreram as ondas de frio foi Bagé, com uma enorme diferença comparando com as demais localidades em análise. O IOMM e IS o destaque fica em Iraí.

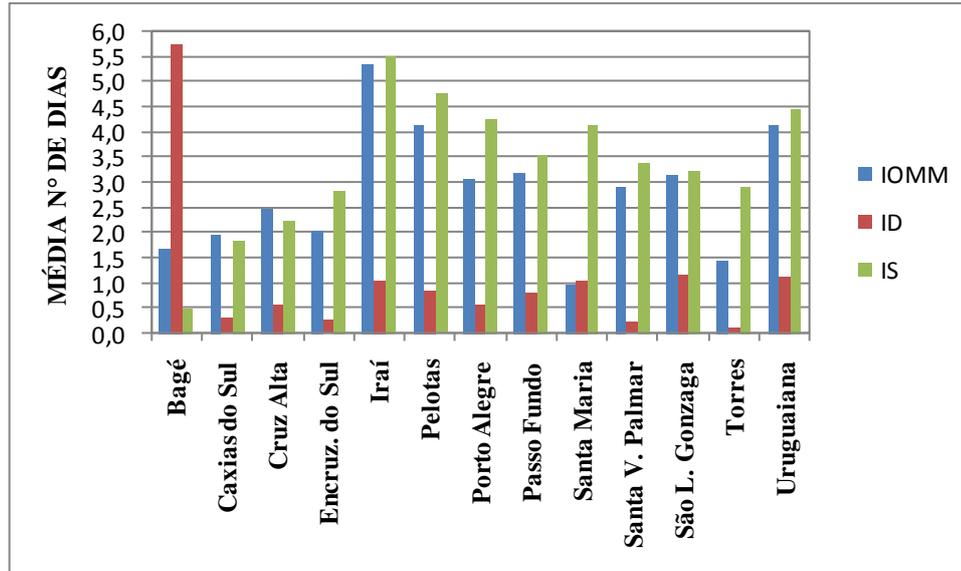


Figura 23 - Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o outono por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Durante o inverno (Figura 24) observa-se uma enorme diferença entre o IOMM com o ID e o IS. Para o IOMM os maiores valores encontram-se nas localidades de Pelotas, Uruguaiana e Porto Alegre, com respectivamente 23, 23 e 22. Os ID e IS não seguem a mesma sequência do IOMM. Levando em consideração os três índices o que permitiu identificar um número superior de ondas de frio nos municípios em análise foi o IOMM.

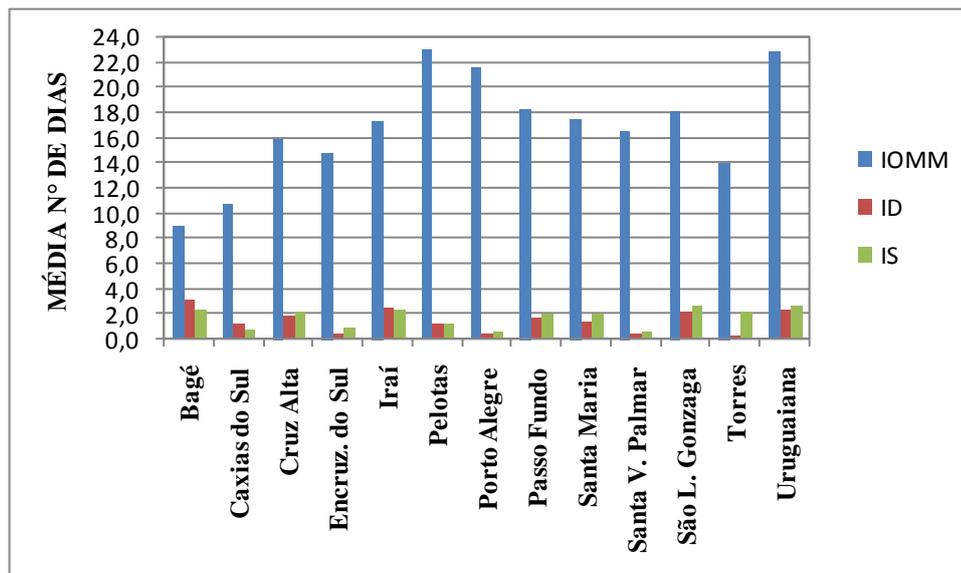


Figura 24 - Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio para o inverno por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Por fim, durante a primavera (Figura 25) o número de dias em que ocorreram as ondas de frio, assim como no outono há uma maior semelhança entre os métodos IOMM e IS. No IOMM Pelotas e Uruguaiiana apresentaram mais dias com temperaturas abaixo da média, para os índices ID e IS destacam-se Bagé e Pelotas.

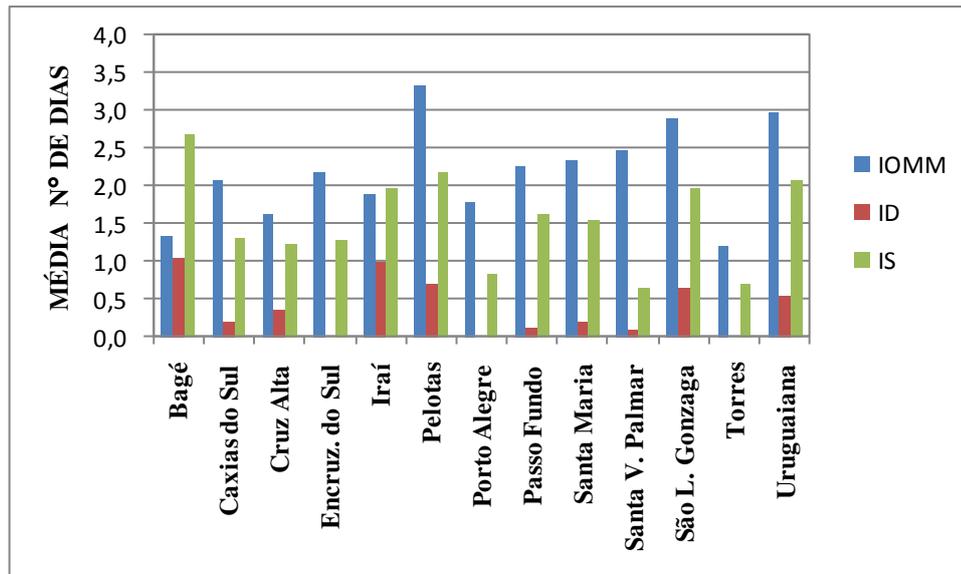


Figura 25 - Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio para a primavera por métodos e localidades para o período de 1961 a 2010.

Devido à existência de falhas nas séries de dados, será feita uma análise comparativa do número de dias em que ocorreu ondas de frio para os métodos IOMM e RCLimdex para as localidades de Passo Fundo (Tabela 6) e Bagé (Tabela 7).

Na Tabela 6 tem-se o número anual de dias em que houve ondas de frio para a localidade de Passo Fundo, no período de 1961 a 2010 para os métodos RCLimdex e IOMM.

O ano de 1966 tem valor bem semelhantes em ambos os métodos com 6 e 7 dia para o RCLimdex e o IOMM. Para o RCLimdex em apenas quatro anos há ondas de frio dos quais são: 1962, 1966, 1976 e 1987, ambos com seis dias. Logo para o IOMM houve dias com ondas de frio em todos os 50 anos de análise, os anos em que ocorreram as maiores números de dias com ondas de calor foram 1962 (53 dias), 1979 (47 dias), 1976 (36 dias), 1987 (35 dias) e 1996 (35 dias).

De modo geral, assim como para as ondas de calor, o IOMM é o método que melhor representa o maior número de ondas de frio em Passo Fundo.

Tabela 6 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de frio entre os métodos RClindex e IOMM para a localidade de Passo Fundo no período de 1961 a 2010.

ANOS	Rclindex	IOMM	ANOS	Rclindex	IOMM
1961	0	8	1986	0	6
1962	6	53	1987	6	35
1963	0	14	1988	0	32
1964	0	26	1989	0	34
1965	0	24	1990	0	29
1966	6	7	1991	0	20
1967	0	18	1992	0	11
1968	0	11	1993	0	19
1969	0	20	1994	0	20
1970	0	10	1995	0	19
1971	0	28	1996	0	35
1972	0	24	1997	0	17
1973	0	29	1998	0	30
1974	-	31	1999	0	26
1975	0	17	2000	0	18
1976	6	36	2001	-	0
1977	0	12	2002	0	22
1978	0	23	2003	0	32
1979	0	47	2004	0	31
1980	0	28	2005	0	22
1981	0	29	2006	0	23
1982	0	12	2007	0	29
1983	0	34	2008	0	30
1984	0	30	2009	0	29
1985	0	29	2010	-	19

Na Tabela 7 tem-se o número anual de dias em que ocorreu ondas de frio em Bagé para os métodos RClindex e IOMM. Ao comparar os métodos verifica-se uma enorme diferença entre os valores, por exemplo, o maior valor para o RClindex encontra-se no ano de 1974 com sete dias e neste mesmo ano o IOMM é de quarenta e cinco dias. O RClindex contém apenas quatro anos que contabiliza os dias com ondas de frio a mesma quantidade que ocorreu em Passo Fundo, porém em anos diferentes que são: 1974, 1979, 1980 e 1981.

Os anos com os maiores números de dias com ondas de frio em Bagé pelo IOMM foram: 1964 (52 dias), 1979 (30 dias), 1974 (45 dias) e 1996 (33 dias). O IOMM apresenta

mais números de ondas de frio para Bagé, chegando a atingir 601 dias com ondas de frio no decorrer dos 50 anos analisados, porém o Rclimdex apresentou um total de 25 dias.

Tabela 7 - Comparação do número anual de dias em que ocorreu ondas de frio entre os métodos Rclimdex e IOMM para a localidade de Bagé no período de 1961 a 2010.

ANOS	Rclimdex	IOMM	ANOS	Rclimdex	IOMM
1961	0	7	1986	0	0
1962	0	19	1987	-	28
1963	0	0	1988	0	19
1964	0	52	1989	0	8
1965	0	0	1990	0	12
1966	0	0	1991	0	10
1967	0	0	1992	0	22
1968	0	15	1993	0	11
1969	0	11	1994	-	6
1970	0	18	1995	0	10
1971	-	11	1996	0	33
1972	0	26	1997	0	0
1973	0	27	1998	0	0
1974	7	45	1999	0	20
1975	0	9	2000	0	17
1976	0	23	2001	-	0
1977	0	11	2002	0	0
1978	0	24	2003	0	0
1979	6	30	2004	0	0
1980	6	11	2005	0	0
1981	6	12	2006	0	0
1982	0	0	2007	0	0
1983	-	29	2008	0	0
1984	0	25	2009	0	0
1985	-	0	2010	-	0

### 4.2.3 Relação dos eventos de El Niño e da La Niña sobre as ondas de frio

A Tabela 8 apresenta o número de ondas de frio de cada localidade e a média espacial (soma do número de ondas de calor de todas as localidades dividido pelo número de localidades), denominada de RS (Rio Grande do Sul) obtidas pelo método IOMM, e os anos de ocorrência de eventos El Niño (vermelho), La Niña (azul) e Neutros (cinza) na área do Niño 3.4 de acordo com o NCEP/NOAA.

Ressalta-se que a escolha das ondas de frio detectadas pelo método IOMM ocorreu porque os métodos IS e ID apresentaram um número anual de ondas de frio menor que o IOMM, uma vez que estes métodos suavizam as ondas de frio que ocorrem no inverno trazendo para baixo o número total anual de ondas de frio, enquanto, o método do RClimdex é eficiente para detecção de tendência de longo prazo, mas não é um bom método para verificação de variabilidade interanual.

Levando em consideração as maiores médias de ondas de frio, pode-se observar na tabela 8, que na maior parte dos anos neutros (1962, 1964, 1966, 1968, 1970, 1976, 1993, 1995, 1998, 2003, 2005, 2006, 2008 e 2009) foi onde ocorreu o maior número de ondas de frio. Seguidos dos anos com a presença de La Niña (1971, 1973, 1974, 1996, 1999, 2001 e 2008) e por último com anos de El Niño (1965, 1969, 1972, 1992, 2002 e 2004), ou seja, em aproximadamente 60% dos anos neutros, 50% dos de La Niña e 40% dos de El Niño ocorreram ondas de frio. Ressalta-se que as maiores médias do número de ondas de frio foram de 5,5 e 4,7 para os anos de 1962 e 1974 respectivamente, o primeiro foi um ano neutro, e 1974 foi de La Niña. Portanto, em ano de El Niño é menor a probabilidade de ocorrência de ondas de frio.

Tabela 8 – Distribuição anual por localidade e média espacial do número de ondas de frio conforme o método IOMM de 1961 a 2010. Os anos foram agrupados em: Neutros (cinza), El Nino (vermelho) e La Nina (azul).

ANOS	BG	CS	CA	ES	IRA	PF	PE	PA	SM	SVP	SLG	TOR	URU	MÉDIA RS	ENOS
1961	1	2	2	1	2	1	3	2	3	1	2	1	3	2	
1962	2	4	6	3	7	7	10	5	5	6	6	3	7	5	
1963	0	2	1	1	3	2	4	4	4	5	3	3	2	3	
1964	5	5	7	1	7	3	5	4	5	4	6	4	3	5	
1965	0	3	3	3	6	4	2	3	3	2	4	3	3	3	
1966	0	1	3	3	5	1	3	4	5	2	3	3	6	3	
1967	0	0	2	0	3	2	2	1	1	2	2	1	1	1	
1968	2	4	1	1	8	2	6	4	8	5	4	4	3	4	
1969	2	3	3	4	3	3	4	3	3	4	7	0	4	3	
1970	3	2	3	3	2	2	3	4	6	1	4	4	4	3	
1971	2	2	5	3	4	4	3	3	5	5	6	2	5	4	
1972	4	3	1	3	4	4	3	3	4	5	4	3	4	3	
1973	2	1	1	3	5	5	3	3	4	4	5	1	5	3	
1974	6	4	3	5	2	4	7	3	7	3	8	3	6	5	
1975	1	2	2	2	4	3	2	3	3	3	4	2	2	3	
1976	2	2	4	4	3	5	3	4	3	3	6	4	4	4	
1977	2	2	2	3	2	2	5	2	3	4	3	2	3	3	
1978	2	3	2	3	4	2	4	2	2	2	3	2	4	3	
1979	4	0	1	0	2	6	6	2	1	0	0	1	0	2	
1980	2	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0	0	0	1	
1981	2	0	0	0	0	3	2	1	0	1	0	1	2	1	
1982	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	1	1	1	
1983	4	1	3	3	1	4	3	6	0	5	0	4	2	3	
1984	2	2	0	0	0	5	6	6	0	7	0	4	0	2	
1985	4	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	1	
1986	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
1987	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	1	
1988	1	0	0	0	0	3	7	4	0	0	0	1	0	1	
1989	1	0	0	0	0	5	6	6	0	0	0	2	0	2	
1990	1	0	0	0	0	3	6	6	0	0	0	0	0	1	
1991	2	0	2	2	2	3	3	2	0	0	3	3	0	2	
1992	3	2	3	4	3	1	3	5	2	7	3	4	6	4	
1993	2	0	3	4	3	3	3	6	5	3	6	3	7	4	
1994	1	0	3	3	3	3	3	4	2	5	2	0	2	2	
1995	2	3	3	2	4	3	4	5	3	4	3	1	6	3	
1996	4	3	5	3	5	6	5	5	5	5	5	4	4	5	
1997	0	2	5	2	5	3	1	5	2	3	2	1	3	3	
1998	0	3	4	2	4	5	0	5	3	2	4	3	5	3	
1999	3	1	5	1	5	4	3	4	4	0	5	4	4	3	
2000	1	3	2	4	2	1	2	4	4	4	2	3	5	3	
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2002	0	4	4	4	4	3	1	3	4	6	5	4	4	4	
2003	0	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	5	6	4	
2004	0	3	4	2	2	6	5	4	5	6	4	2	4	4	
2005	0	4	4	5	3	4	4	2	2	5	5	1	7	4	
2006	0	3	4	4	5	4	2	3	3	4	5	3	5	3	
2007	0	3	5	5	3	4	3	4	4	7	5	2	8	4	
2008	0	2	3	3	2	5	3	2	6	4	6	2	5	3	
2009	0	3	4	4	4	5	4	5	5	3	4	4	4	4	
2010	0	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	3	5	3	

Nota: Os significados das siglas estão listados no Quadro 1.

A Tabela 9 mostra as médias e os desvios padrão do número de ondas de frio média anual no Rio Grande do Sul nos anos de El Niño, La Niña e Neutros. Observa-se que em média ocorre uma quantidade maior de ondas de frio nos períodos de La Niña, seguido do neutro e por fim de El Niño. Entretanto, a Tabela 10 mostra os valores calculados de t-Student para as comparações das médias do número de ondas de frio no Rio Grande do Sul em anos de La Niña, El Niño e Neutro. Observa-se que as diferenças observadas entre as médias para os três diferentes períodos não apresenta significância estatística, pois para se ter significância de 95% o t calculado deveria ser igual ou superior a 2,14, ou seja, não é possível afirmar categoricamente que nos anos de La Niña ocorre um número maior de ondas de frio que nos neutros e de El Niño.

Tabela 9 - Médias e desvios padrões do número de ondas de frio em anos Neutro, de El Niño e de La Niña.

	<b>Neutro</b>	<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>
Média	2,72	2,60	2,95
Desvio Padrão	1,47	1,01	1,17
Nº de Anos	22	14	14

Tabela 10 - Valores calculados de t-Student para comparação das médias do número de ondas de frio durante os anos Neutro, de El Niño e de La Niña.

	<b>Neutro</b>	<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>
Neutro		0,29	0,49
El Niño	0,29		0,81
La Niña	0,49	0,81	

Fazendo uma análise do desempenho de cada método, verifica-se que, por um lado, de modo geral, o IOMM detecta um maior número de ondas de calor e de frio que os demais, principalmente, ondas de calor no verão e de frio no inverno. Os métodos IS e ID suavizam as ondas de calor no verão e as de frio no inverno. Entretanto, com o IS e ID é possível observar ondas de calor no inverno e de frio no verão e com o IOMM praticamente, não se observa este

tipo de ocorrência. Por outro lado, o RCLimindex é muito eficiente para detectar tendência, principalmente de longo prazo, mas foi incapaz de detectar variabilidade interanual nos números de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul. Portanto, levando em consideração o número de observadas e a variabilidade interanual o IOMM mostrou-se ser um método mais robusto.

Os resultados obtidos por Firpo et al. (2012) descrevem que em anos de El Niño tem-se o maior número de onda de calor e os anos de La Niña maior número de ondas de frio. No presente trabalho também se verificou resultado semelhantes, entretanto, não é possível afirmar categoricamente que nos anos de El Niño tem-se maior número de ondas de calor e que anos de La Niña apresente maior número de ondas de frio, uma vez que as diferenças observadas não são estatisticamente significativas.

## 5. CONCLUSÕES

A climatologia das temperaturas máximas no Rio Grande do Sul nos dias de ondas de calor mostrou, por todos os métodos analisados, um gradiente do litoral para o interior e de sudeste para noroeste. Esta configuração é consequência da continentalidade, latitude e relevo, principalmente continentalidade do Rio Grande do Sul. Enquanto o da temperatura mínima dos dias de ondas de frio também se observa configuração espacial semelhante as das máximas, entretanto, verificam-se núcleos com os menores valores de temperatura mínima em torno de Bagé (sudoeste) que se estende em direção à Encruzilhada do Sul e em Passo Fundo, ou seja, enquanto, os efeitos das ondas de calor são amplificados pela continentalidade, os das ondas de frio são pelo relevo, principalmente altimetria.

Com relação à climatologia anual do número de dias com ondas de calor, o IOMM apresentou valores superiores aos do ID e IS.

Para a climatologia anual do número de dias com ondas de frio, o IOMM apresentou valores acima dos demais índices, os maiores valores estão em Pelotas. Para o sazonal, os índices não apresentaram valores significativos, nas demais estações os métodos IOMM e IS apresentaram valores bem semelhantes.

A variabilidade sazonal das ondas de frio foi significativa, pois praticamente não se observou ondas de frio no verão. Do total de ondas de frio 13% ocorreram na primavera, 23% no outono e 64% no inverno. As ondas de calor também apresentaram uma variabilidade sazonal relevante, porém menor que as de frio, pois do total de ondas de calor observadas aproximadamente 62% ocorreram no verão, 21% no outono, 10% na primavera e 7% no inverno.

Com relação à variabilidade interanual em anos de El Niño existem uma maior probabilidade de ocorrência de ondas de calor no Rio Grande do Sul e menor em anos de La Niña. Enquanto, as ondas de frios tende a ocorrer em menor frequência nos anos de El Niño.

O RClimdex não conseguiu detectar variabilidade interanual, porém o mesmo é conhecido como uma excelente ferramenta para detectar tendência. O método IOMM mostrou-se mais robusto para detecta um maior número de eventos quentes e frios.

Por fim, os resultados obtidos neste estudo indicaram que episódios de ondas de calor ocorrem com mais frequência nas mesorregiões Norte e Oeste do estado do Rio Grande do Sul, e de acordo com o método utilizado a quantidade de ondas de calor varia. Já as ondas de frio os episódios ocorreram com maior frequência e intensidade nas proximidades de Bagé.

## 6. REFERÊNCIAS

BALDI, M.; DALU, G.; MARACCHI, G.; PASQUI, M.; CESARONE, F. Heat waves in the mediterranean: a local feature or a larger-scale effect? **International Journal of Climatology**, v. 26, n. sf,p.1477–1487, 2006.

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN, C.; CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia Serviços de Saúde**, Brasília, v. 18(3): 285-304, jul-set 2009.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

BIDEGAIN, M.; RENOM, M. Temperaturas extremas y amplitudes diárias em Uruguay condicionadas segun El fenomeno ENSO. **Anais**. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002. , Foz do Iguaçu. 2002, CD-Rom.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D.J.; HIRST A.C; MANN, M.E; STOTT, P; STOUFFER,R.J; TETT S.F.B. Simple indices of global climate variability and change: Part I - variability and correlation structure. **Climate Dynamics**, v. 20, n. 5, p. 491-502, 2003.

BRAGANZA, K.; KAROLY, D.J.; ARBLASTER, J.M. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n.13: Art. No. L13217, 2004.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da Precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño oscilação sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, ISSN: 1980-055X, v.3, p.37-48, 2008.

CARDIA, V.C. **Climatologia das ondas de calor em Porto Alegre-RS:1961 a 2010**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Departamento de Geografia. Trabalho de graduação, 2010.

CARVALHO, M. J.; ROCHA, A. Alterações Climáticas no regime de ondas de calor e frio simulado para Portugal, São Tomé e Cabo Verde. **Anais...** Workshop Clima e Recursos Naturais 2010 nos Países de Língua Portuguesa. 2, 2010, Bragança. Portugal. Anais. Bragança, 2010, p. 53 - 60.

CONFALONIERI, U. E. C. **Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil**. *Terra Livre*, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2003.

CORRÊA, I. C. P.. Análise **das variabilidades interanuais e interdecenais dos índices de aridez e efetivo de umidade do estado do Ceará**. Dissertação de mestrado, UFCG, Campina Grande, 2016.

COSTA, E. R. A onda de frio de junho de 2012 no Rio Grande do Sul: gênese, duração e temperaturas mínimas registradas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 213-226, 2013.

COSTA, E. R.; SARTORI, M.G. B.; FANTINI, V. Estudo da relação entre eventos El Niño-La Niña e ocorrência de ondas de frio na região de Santa Maria – RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 33, n. sf, p. 63-276, 2007. Versão online disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/37439/24184>>.

CPSRM/UFRGS - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/srm/index.htm>>.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1,p. 95 –106,2012.

FIRPO, M. A. F. **Climatologia das ondas de frio e de calor para o Rio Grande do Sul e sua relação com El Niño e La Niña**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

GRIMM, A.M.; TOGATLIAN, I.M. Relação entre eventos El Niño /La Niña e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. **Anais...** Congresso Brasileiro De Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu. 2002. CD-ROM.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. **Climate Change: 2009: the Physical Science Basis**. Summary for Policemakers. IPCC WGI Fourth Assessment Report, 2009.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. **Climate Change: 2014: the Physical Science Basis**. Summary for Policemakers. IPCC WGI Fourth Assessment Report, 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2016. Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=fenomenos\\_adversos](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=fenomenos_adversos).

KOGIMA, K. C. **Análise de índices para a identificação de anomalias de calor em séries de dados meteorológicos**. (62 páginas). Trabalho de Conclusão de curso em Geografia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em 07 de junho de 2016.

KOSTOPOULOU, E., JONES, P. D. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 89, n. sf, p. 69-85, 2005.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 de maio de 2016.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 17 de maio de 2016.

MULLER, G.V. Variabilidad Interanual de lasheladas em La Pampa Humeda. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, V.21, n.1, p.141-152, 2006.

National Centers for Environmental Prediction. NCEP, 2017. Disponível em: <<http://www.ncep.noaa.gov/>>.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1989. PERCILIA, E. **Aspectos naturais do Rio Grande do Sul**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/aspectos-naturais-rio-grande-sul.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2016.

NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. **The climatologic of drought prediction**. Kluwer Academic Publishers. The impact of variation on agriculture, v. 2, 1988.

PERCILIA, E. **Aspectos naturais do Rio Grande do Sul**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/aspectos-naturais-rio-grande-sul.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2016.

PETERSON, T. C.; JUNIOR, R. R. H.; HIRSCH, R.; KAISER, D. P.; BROOKS, H.; DIFFENBAUGH, N. S.; DOLE, R. M.; GIOVANNETTONE, J.P.; GUIRGUIS, K.; KARL, T.R.; KATZ, R.W.; KUNKEL, KENNETH.; LETT ENMAIER, D.; MCCABE, G.J.; PACIOREK, C.J.; RYBERG, K.R.; SCHUBERT, S.; SILVA, V. B. S.; STEWART, B.C.; VECCHIA, A.V.; VILLARINI, G.; VOSE, R.S.; WALSH, J.; WEHNER, M.; WOLOCK, D.; WOLTER, K.; WOODHOUSE, C.A.; WUEBBLES, D. **Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods, and droughts in the United States**. American Meteorological Society, 2013.

PINTO, H. S.; ZULLO Jr., J.; ZULLO, S. A. Oscilações pluviométricas temporais no Estado de São Paulo. **Anais...** Congresso Brasileiro De Agrometeorologia, 6., 1989, Maceió. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 29-33, 1989.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; JÚNIOR, J.Z.; ÁVILA, A.M.H. Variabilidade climática. **Anais... Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios**, 2003.

RIBEIRO, B. Z.; NUNES, A. B. Variação temporal das ondas de calor na cidade de Pelotas – RS. **Anais... Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, 4. Pelotas – RS, 2011.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift.**, v. 19, n. sf,p.135-141. 2010. doi: 10.1127/0941-2948/2010/0430,

RUSTICUCCI, M.M.; VARGAS, W.M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. **Atmósfera**, v.14, p. 75-86, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da complexidade física do universo ao cotidiano da sociedade: mudanças, variabilidade, ritmo climático. **Terra livre**, v. 1, n. 20, p. 51-63, 2003.

SANTOS, F.D., MIRANDA, P. **Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de adaptação** – Projeto SIAM II, Gradiva – Publicações, Lisboa, 2006.

SANTOS, C.A.C. **Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. Dissertação de mestrado, UFCG, Campina Grande, 2006.

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

## Eventos de ENOS no período de 1951 a 2010

ANOS	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1961	0	0	-0.1	0	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>
1964	<b>1.0</b>	<b>0.6</b>	0.1	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>
1965	<b>-0.5</b>	-0.3	-0.1	0.1	0.4	<b>0.7</b>	<b>1.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>
1966	<b>1.3</b>	<b>1.0</b>	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	0.3	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4	<b>-0.5</b>
1968	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>
1969	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	0.4	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>
1970	<b>0.6</b>	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.2</b>
1971	<b>-1.3</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>
1972	<b>-0.7</b>	-0.4	0	0.3	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.0</b>	<b>1.9</b>
1973	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	<b>0.6</b>	0	-0.4	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.9</b>	<b>-1.9</b>
1974	<b>-1.7</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>
1975	<b>-0.5</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.6</b>
1976	<b>-1.5</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.7</b>	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>
1977	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>
1978	<b>0.7</b>	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>
1980	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>
1983	<b>2.1</b>	<b>1.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>
1985	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>
1987	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>

1988	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	0.1	-0.3	<b>-0.8</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.8</b>
1989	<b>-1.6</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>
1992	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1.0</b>	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>
1995	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.2	0	-0.2	<b>-0.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>
1996	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	<b>0.6</b>	<b>1.0</b>	<b>1.4</b>	<b>1.7</b>	<b>2.0</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>
1998	<b>2.1</b>	<b>1.8</b>	<b>1.4</b>	<b>1.0</b>	<b>0.5</b>	-0.1	<b>-0.7</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.4</b>
1999	<b>-1.4</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.6</b>
2000	<b>-1.6</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.8</b>
2001	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>
2003	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
2004	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>
2005	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.2	0	-0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>
2007	<b>0.7</b>	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.3</b>
2008	<b>-1.4</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>
2010	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.5</b>	0.0	-0.4	<b>-0.9</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.4</b>

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

## ANEXO B

Média do número de dias em que ocorreram ondas de calor por método e estação do ano

Cidades	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS
Bagé	49,9	7,3	19,1	37,9	1,0	1,0	8,7	1,3	11,0	0,3	4,1	4,6	3,0	0,9	2,5
Caxias do Sul	19,4	5,6	8,3	13,1	0,2	0,4	3,4	1,1	3,1	0,3	2,2	2,3	2,6	1,9	2,3
Cruz Alta	22,7	7,3	10,6	16,4	0,2	0,2	4,1	1,5	3,9	0,0	4,1	4,2	2,3	1,6	2,1
Encruzilhada do Sul	26,5	5,1	8,5	19,6	0,3	0,1	4,9	1,2	3,9	0,1	2,1	2,5	1,7	0,6	1,8
Iraí	26,0	5,2	9,8	19,2	0,0	0,2	4,8	0,6	4,3	0,1	3,3	3,7	1,8	1,3	1,6
Pelotas	25,5	2,7	4,7	19,3	0,0	0,0	5,7	0,6	2,2	0,1	1,7	2,1	0,4	0,4	0,4
Porto Alegre	21,0	4,2	9,1	18,6	0,0	0,8	4,5	1,2	3,9	0,2	2,3	2,7	1,9	0,7	1,7
Passo Fundo	30,3	9,3	12,6	21,4	0,3	0,4	5,3	1,2	4,9	0,2	5,0	4,1	3,4	2,7	3,1
Santa Maria	23,2	5,9	9,2	17,6	0,1	0,2	3,6	1,1	3,3	0,2	4,0	4,1	1,7	0,7	1,5
Santa Vitoria Palmar	13,2	0,5	3,6	11,0	0,0	0,0	2,1	0,0	1,6	0,0	0,8	1,0	0,1	0,1	1,1
São Luiz Gonzaga	30,2	6,9	11,7	23,0	0,2	0,3	4,9	1,0	4,7	0,0	4,1	4,1	2,9	1,6	2,5
Torres	7,3	0,1	0,5	4,1	0,0	0,0	2,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Uruguaiana	33,5	6,0	11,4	25,8	0,5	0,8	5,6	0,8	4,9	0,1	3,9	3,9	2,0	0,7	1,9

## ANEXO C

Média do número de dias em que ocorreram ondas de frio por método e estação do ano

Cidades	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS
Bagé	12,0	5,7	8,9	0,0	0,1	0,1	1,7	5,7	0,5	9,0	3,1	2,3	1,3	1,0	2,7
Caxias do Sul	14,8	2,0	4,0	0,0	0,2	0,1	2,0	0,3	1,9	10,8	1,3	0,8	2,1	0,2	1,3
Cruz Alta	20,0	1,8	5,6	0,0	0,0	0,0	2,5	0,6	2,3	15,9	1,8	2,1	1,6	0,4	1,2
Encruzilhada do Sul	19,0	0,3	5,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,3	2,8	14,8	0,4	0,9	2,2	0,0	1,3
Iraí	24,6	5,3	10,1	0,0	0,0	0,2	5,4	1,1	5,5	17,3	2,5	2,4	1,9	1,0	2,0
Pelotas	30,5	2,6	7,5	0,0	0,2	0,3	4,1	0,9	4,8	23,0	1,2	1,2	3,3	0,7	2,2
Porto Alegre	26,4	1,1	5,8	0,0	0,1	0,1	3,1	0,6	4,2	21,6	0,4	0,6	1,8	0,0	0,8
Passo Fundo	23,8	2,8	7,2	0,0	0,0	0,0	3,2	0,8	3,6	18,3	1,7	2,1	2,3	0,1	1,6
Santa Maria	23,5	2,6	8,0	0,0	0,0	0,3	1,0	1,1	4,1	17,4	1,3	2,1	2,3	0,2	1,5
Santa Vitoria Palmar	25,8	1,0	4,9	0,0	0,2	0,2	2,9	0,2	3,4	16,6	0,5	0,6	2,5	0,1	0,7
São Luiz Gonzaga	24,1	4,0	7,9	0,0	0,0	0,1	3,1	1,2	3,2	18,1	2,2	2,6	2,9	0,7	2,0
Torres	16,7	0,5	4,3	0,0	0,0	0,1	1,4	0,1	2,9	14,0	0,4	2,2	1,2	0,0	0,7
Uruguaiana	30,1	4,0	9,1	0,0	0,0	0,0	4,1	1,2	4,4	22,9	2,3	2,6	3,0	0,5	2,1

## ANEXO D

Média da temperatura (°C) de ondas de calor por método e estação do ano

Cidades	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS	OMM	ID	IS
Bagé	31,3	31,4	31,3	31,5	36,3	36,7	30,7	30,3	30,6	29,7	26,2	26,5	30,9	30,4	31,6
Caxias do Sul	29,4	28,0	29,3	29,5	32,3	32,6	29,3	27,6	29,3	28,4	25,4	26,0	29,2	28,5	29,3
Cruz Alta	32,3	31,0	31,9	32,4	36,0	36,0	32,2	30,3	32,2	0,0	27,0	27,4	32,4	30,6	32,1
Encruzilhada do Sul	30,9	29,6	30,5	31,0	35,0	35,5	30,6	29,6	30,8	29,0	25,2	25,6	30,6	29,3	30,2
Iraí	34,6	32,0	32,6	34,8	0,0	38,7	34,6	30,6	34,7	33,2	29,8	30,5	35,0	34,1	35,0
Pelotas	30,7	28,9	29,6	30,7	0,0	0,0	30,4	31,1	31,5	30,5	27,4	27,2	30,4	27,5	30,3
Porto Alegre	32,8	31,8	32,7	32,3	0,0	36,6	32,2	31,6	33,3	28,1	28,6	28,6	29,0	32,8	32,5
Passo Fundo	31,0	30,0	30,7	31,1	34,1	34,4	30,6	28,8	30,7	29,7	26,0	26,6	31,1	30,4	31,3
Santa Maria	33,0	32,3	33,1	33,1	38,2	37,5	33,2	31,9	33,4	32,2	28,5	28,7	33,5	33,3	33,4
Santa Vitoria Palmar	30,7	25,2	28,3	30,9	0,0	0,0	30,1	0,0	30,3	0,0	25,7	25,5	30,7	26,7	29,0
São Luiz Gonzaga	34,3	32,8	33,7	34,5	38,2	37,9	34,2	33,1	34,2	0,0	28,6	29,1	33,9	32,8	34,0
Torres	29,1	25,4	30,8	29,2	0,0	0,0	29,3	0,0	31,2	0,0	0,0	30,4	0,0	25,4	0,0
Uruguaiana	33,8	32,4	33,1	33,9	37,9	37,7	33,3	33,5	33,4	32,2	27,9	27,9	33,3	33,3	33,3

## ANEXO E

Média da temperatura (°C) de ondas de frio por método e estação do ano

Cidades	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	OMM	ID	IS	OM M	ID	IS	OM M	ID	IS	OM M	ID	IS	OMM	ID	IS
Bagé	2,3	3,2	4,5	0,0	8,6	10,5	3,3	3,3	3,8	1,9	0,2	3,3	2,7	3,7	3,6
Caxias do Sul	3,8	4,1	5,3	0,0	12,4	10,6	4,6	4,0	5,0	3,8	1,7	1,5	4,4	3,5	4,3
Cruz Alta	4,8	4,7	4,4	0,0	0,0	0,0	5,5	6,6	5,9	4,6	1,7	1,8	5,8	5,2	5,7
Encruzilhada do Sul	4,7	3,4	4,3	0,0	0,0	0,0	5,6	4,6	6,2	4,5	1,9	1,7	5,1	0,0	4,7
Iraí	5,4	5,0	6,4	0,0	0,0	11,8	6,0	7,0	6,1	5,0	1,5	1,5	5,6	6,1	5,8
Pelotas	4,9	5,6	5,8	0,0	11,3	10,5	5,9	4,9	6,1	4,6	1,4	1,2	5,5	6,0	5,7
Porto Alegre	7,1	7,3	8,4	0,0	14,7	14,1	7,7	7,3	8,3	6,9	4,6	4,0	7,6	0,0	7,2
Passo Fundo	4,2	3,5	3,8	0,0	0,0	0,0	4,6	4,8	4,8	4,1	1,4	1,4	5,1	1,7	5,2
Santa Maria	5,1	3,6	6,3	0,0	0,0	11,5	5,7	4,6	6,1	4,8	1,4	1,7	5,8	5,7	5,6
Santa Vitoria Palmar	5,0	5,2	5,5	0,0	10,0	9,7	5,6	5,3	5,9	4,8	1,8	2,0	5,4	6,6	4,3
São Luiz Gonzaga	6,0	5,5	7,5	0,0	0,0	13,2	6,8	6,5	7,2	5,8	2,9	3,0	7,0	5,4	6,6
Torres	7,7	6,1	8,8	0,0	0,0	14,1	8,3	7,5	8,9	7,6	4,8	4,4	7,9	0,0	7,5
Uruguaiana	5,1	4,6	4,6	0,0	0,0	0,0	5,6	5,2	6,1	4,7	1,7	1,5	6,0	5,0	5,8