

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES

PRODUTO 2.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS  
PRODUTO 2.13. ANÁLISE DA CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIA CLIMÁTICA NA  
BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

**RF**  
RELATÓRIO FINAL

Porto Alegre  
Fevereiro/2017

## SUMÁRIO

.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
PRODUTO 2.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS .....	1
PRODUTO 2.13. ANÁLISE DA CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIA CLIMÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.....	1
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO DO VALE DO RIO TAQUARI.....	2
3. DADOS E METODOLOGIA .....	7
3.1. Levantamento das estações meteorológicas de coleta de dados .....	7
3.2. Levantamento dos eventos extremos .....	11
3.3. Mapeamento de locais e eventos extremos registrados .....	12
3.4. Análise de eventos meteorológicos.....	12
3.5. Relação ENOS e precipitação .....	12
3.6. Climatologia e tendências climáticas .....	14
4. RESULTADOS.....	16
4.1. PRODUTO 2.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS .....	16
4.1.1. Eventos Extremos x Decreto de emergência.....	16
4.1.2. Análise dos Eventos Extremos.....	18
4.1.2.1. Inundações .....	18
4.1.2.2. Enxurradas .....	21
4.1.2.3. Vendavais e tempestades .....	23
4.1.2.4. Granizo.....	26
4.1.3. Análise das condições meteorológicas na ocorrência de eventos extremos .....	27
4.1.4. Relação ENOS x Eventos extremos.....	42
4.2. PRODUTO 2.13. ANÁLISE DA CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIA CLIMÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.....	46
5. CONCLUSÕES .....	94
REFERÊNCIAS.....	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do encontro das massas de ar frio e quente sobre o Rio Grande do Sul e a consequente formação de ciclones extratropicais na região. ....	3
Figura 2 - Rio Grande do Sul – Tipologia Climática. ....	4
Figura 3 - Topografia e Subdivisões Climáticas e da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. ....	5
Figura 4 - O (a) estágio cumulus, (b) estágio maduro, e o (c) estágio dissipativo de uma célula convectiva de vida curta. ....	7
Figura 6 - Localização das estações meteorológicas convencionais do INMET e pluviométricas da ANA na Região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. ....	15
Figura 7 - Espacialização dos eventos extremos registrados na BHTA no período de 2000 a 2013. ....	16
Figura 8 - Número de ocorrência de eventos extremos anuais e mensais, no período de 2000-2013. ...	17
Figura 9 - Percentual de eventos extremos ocorridos na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no período de 2000-2013 (Segundo a nova classificação da COBRADE (2012), em “Enchente ou inundação” leia-se Inundação, e “Enxurradas ou inundações bruscas” leia-se Enxurradas). ....	18
Figura 10 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de enchentes ou inundações graduais (Inundações, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013. ....	19
Figura 11 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de enchentes ou inundações graduais (Inundações, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013. ....	21
Figura 12 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas (Enxurradas, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013. ....	22
Figura 13 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas (Enxurradas, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013. ....	23
Figura 14 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de vendavais e tempestades no período de 2000-2013. ....	25
Figura 15 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de vendavais e tempestades no período de 2000-2013. ....	26
Figura 16 - Número de ocorrência de eventos extremos anuais e mensais, referentes à queda de granizo no período de 2000-2013. ....	27

Figura 17 - Cartas sinóticas de altos níveis (250 hPa). .....	32
Figura 18 - Cartas sinóticas de níveis médios (500 hPa). .....	33
Figura 19 - Cartas sinóticas de superfície (1.000 hPa). .....	34
Figura 20 - Imagem do satélite GOES -12 do dia 03/01/2010 as 21:30Z. Fonte: DSA/CPTEC/INPE. .	35
Figura 21 - Municípios do Rio Grande do Sul que decretaram situação de emergência em decorrência de inundações e enxurradas em 20, 21 e 22 de julho de 2011. ....	37
Figura 22 - Cartas sinóticas de altitude (250 hPa). .....	37
Figura 23 - Cartas sinóticas de níveis médios (500 hPa). .....	38
Figura 24 - Cartas sinóticas de níveis baixos (850 hPa). .....	39
Figura 25 - Cartas sinóticas de superfície (1.000 hPa). .....	40
Figura 26 - Evolução temporal de precipitação pluvial registrada nas estações meteorológicas do INMET de 19 a 22 de julho de 2011. ....	41
Figura 27 - Evolução temporal de temperatura do ar registrada nas estações meteorológicas do INMET de 19 a 22 de julho de 2011. ....	41
Figura 28 - Número de eventos ENOS ocorridos durante ao período de estudo. ....	43
Figura 29 - Relação entre os casos de inundação de acordo com a magnitude e anos de ENOS. ....	45
Figura 30 - Magnitude dos eventos ENOS e o número de inundações. ....	45
Figura 31 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	46
Figura 32 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	47
Figura 33 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	48
Figura 34 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	49
Figura 35 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	49
Figura 36 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	50
Figura 37 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	51

Figura 38- Figura 37 – Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	51
Figura 39 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	52
Figura 40 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	53
Figura 41 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	53
Figura 42 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	54
Figura 43 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	55
Figura 44 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	57
Figura 45 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	57
Figura 46 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	58
Figura 47 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	58
Figura 48 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	59
Figura 49 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	59
Figura 50 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	60
Figura 51 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	60
Figura 52 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	61

Figura 53 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	61
Figura 54 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	62
Figura 55 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	62
Figura 56 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	63
Figura 57 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	64
Figura 58 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	65
Figura 59 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	65
Figura 60 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	66
Figura 61 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	66
Figura 62 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	67
Figura 63 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	67
Figura 64 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	68
Figura 65 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	68
Figura 66 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	69
Figura 67 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	69

Figura 68 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	70
Figura 69 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	70
Figura 70 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	72
Figura 71 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	72
Figura 72 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	73
Figura 73 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	73
Figura 74 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	74
Figura 75 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	74
Figura 76 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	75
Figura 77 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	75
Figura 78 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	76
Figura 79 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	76
Figura 80 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	77
Figura 81 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	77
Figura 82 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	78

Figura 83 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	79
Figura 84 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	80
Figura 85 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	80
Figura 86 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	81
Figura 87 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	81
Figura 88 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	82
Figura 89 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	82
Figura 90 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	83
Figura 91 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	83
Figura 92 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	84
Figura 93 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	84
Figura 94 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	85
Figura 95 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta. ....	85
Figura 96 - Precipitação pluvial total mensal nas estações meteorológicas do INMET de Bom Jesus; Caxias do Sul; Cruz Alta; Passo Fundo; Porto Alegre; e Santa Maria. Média do período de 1961 a 2012. ....	87
Figura 97 - Precipitação pluvial total mensal nas estações da ANA de Antônio Prado; Casca; Encantado; Marau; Nova Prata; São Francisco de Paula e Veranópolis. Média do período de 1961 a 2012. ....	89



Figura 98 - Distribuição da precipitação pluvial anual (mm) na BHTA. Período de 1961-2012.....	91
Figura 99 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no verão na BHTA. Período de 1961-2012.....	92
Figura 100 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no outono na BHTA. Período de 1961-2012.	92
Figura 101 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no inverno na BHTA. Período de 1961-2012.	93
Figura 102 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) na primavera na BHTA. Período de 1961-2012. .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de municípios e agências responsáveis e operadoras das estações pluviométricas existentes na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.....	8
Tabela 2 - Registro de inundações Bacia Hidrográfica Taquari- Antas no período de 1961 até 2013...	13
Tabela 3 - Ocorrência dos eventos extremos nos municípios da Bacia Hidrográfica Taquari – Antas no período de 2008 a 2013 (Fonte: Defesa Civil/RS).....	28
Tabela 4 - Casos de eventos de inundações ocorridos na Bacia Hidrográfica Taquari – Antas.....	43
Tabela 5 - Tendências climáticas da precipitação pluvial anual no período de 1961 até 2012. ....	55
Tabela 6 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no verão, no período de 1961 até 2012. ....	63
Tabela 7 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no outono, no período de 1961 até 2012.....	71
Tabela 8 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no inverno, no período de 1961 até 2012.....	78
Tabela 9 - Tendências climáticas da precipitação pluvial na primavera, no período de 1961 até 2012.	86

## PRODUTO 2.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

### PRODUTO 2.13. ANÁLISE DA CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIA CLIMÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

#### 1. INTRODUÇÃO

O progresso tecnológico e econômico aumentou o nível de bem-estar e conforto da população nas últimas décadas. Porém, cada vez mais nos tornamos dependentes da geração de eletricidade, do transporte de pessoas e mercadorias, da produção de alimentos e de outras tecnologias da nossa civilização, que envolvem a emissão de gases do efeito estufa. A atenuação dos efeitos das mudanças climáticas globais e a adaptação a estas são os maiores desafios da humanidade neste início de século.

Embora existam muitas incertezas, para a maioria dos cientistas da área os impactos das mudanças climáticas estão sendo percebidos e a ação antrópica é relatada como a principal causadora destas mudanças. Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), é inevitável uma elevação de 2°C na temperatura média global nos próximos anos, mesmo que sejam realizadas todas as medidas para reduzir as emissões de carbono no planeta. E caso mantenham-se as atividades atuais, prevê-se um aumento de mais de 6°C na temperatura média da Terra, com consequências catastróficas para os ecossistemas.

Na categoria de mudanças climáticas, eventos extremos – como secas severas, ondas de calor, vendavais, furacões, tempestades, inundações e enxurradas – representam fenômenos com alto poder de destruição. Ao aumento da ocorrência e da intensidade desses eventos soma-se a dificuldade no gerenciamento de planos para a adaptação e atenuação de seus efeitos, e a dificuldade de prevê-los com exatidão.

As relações de eventos extremos com as mudanças climáticas globais não foram, até o momento, totalmente compreendidas pela comunidade científica brasileira. O estudo das condições atmosféricas é bastante complexo, principalmente, quando estas estão associadas a tempo severo, como tempestades, rajadas de vento, granizo, entre outros.

Os Estados da região Sul do Brasil, principalmente o Rio Grande do Sul (RS), apresentam como características climáticas a ocorrência de precipitações pluviais bem distribuídas ao longo das quatro estações do ano. Porém, a região é impactada por eventos meteorológicos severos com grande volume de chuva em pouco tempo. Kobiyama *et al.* (2006) afirmam que grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais nessa região são ocasionados por desastres naturais.

Uma das regiões do Rio Grande do Sul que mais tem sido afetada por esse processo é o Vale do rio Taquari (FERRI, 1991). A Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (BHTA) está localizada a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Araújo (1930) afirma que a orografia do local influencia na dinâmica do sistema atmosférico, aumentando os movimentos ascendentes do ar, que é um dos causadores de precipitação pluvial. Deste modo, a parte mais alta da Serra do Nordeste é a região com maior ocorrência de precipitação pluvial no Estado, atingindo valores superiores a 2.000 mm anuais.

Bombassaro & Robaina (2010), em sua pesquisa sobre a contribuição geográfica para o estudo das inundações na BHTA, indicam que danos e destruição em lavouras, estradas e pontes estão entre os prejuízos mais frequentes nos municípios ribeirinhos. Moradias são afetadas e centenas e milhares de pessoas são desabrigadas e flageladas, anualmente, com ocorrência, por vezes, de vítimas fatais. Grande parte destes eventos está associada às instabilidades atmosféricas severas, que causam ventos fortes, granizo e inundações.

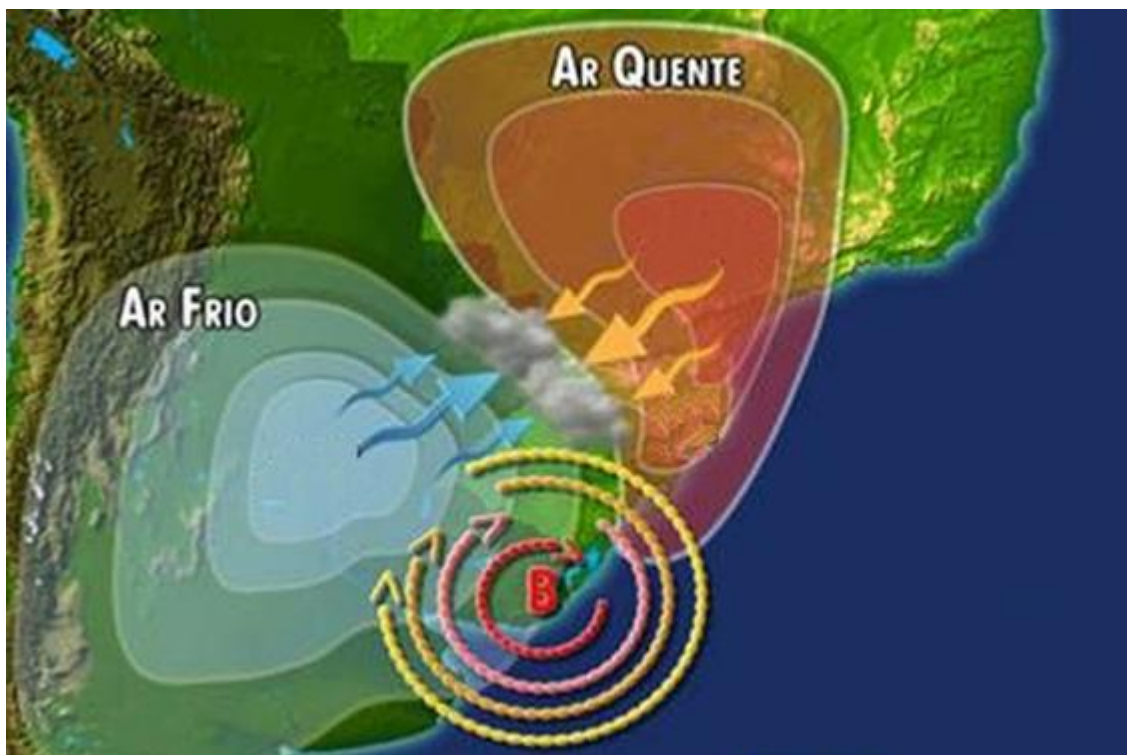
Entende-se que as precipitações pluviais que ocorrem nas cabeceiras de drenagem têm grande influência na determinação das cheias, sendo intensificada pelas condições estruturais do relevo que favorecem o escoamento das águas nas áreas a montante da bacia hidrográfica e intensificando a ocorrência de inundações nas porções de vale.

## 2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO DO VALE DO RIO TAQUARI

O Rio Grande do Sul está localizado no extremo meridional do Brasil, situado em uma zona de transição, e a isto se deve as suas características climáticas. Em razão de sua posição latitudinal, seu clima apresenta estações bem definidas ao longo do ano, sofrendo grande influência de sistemas extratropicais (massas e frentes polares) e intertropicais (massas tropicais e correntes perturbadas). O Estado situa-se em uma área de encontro de massas de ar com características opostas. Esse encontro é ocasionado pelo avanço dos sistemas atmosféricos de origem polar em direção à linha do Equador, geralmente, associados às massas de ar frio e seco, com os sistemas de origem tropical, associados às massas de ar quente e úmido, que se deslocam na direção dos polos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

A atuação dos sistemas atmosféricos, principalmente, os sistemas polares condicionam a dinâmica climática rio-grandense, interagindo com os sistemas tropicais. Estes, ao se relacionarem com os fatores geográficos é que definem as características climáticas do Estado. A região da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, localizada na porção nordeste do Rio Grande do Sul registra as menores temperaturas mínimas e máximas, sendo a região mais elevada e mais úmida do Estado.

**Figura 1 - Ilustração do encontro das massas de ar frio e quente sobre o Rio Grande do Sul e a consequente formação de ciclones extratropicais na região.**



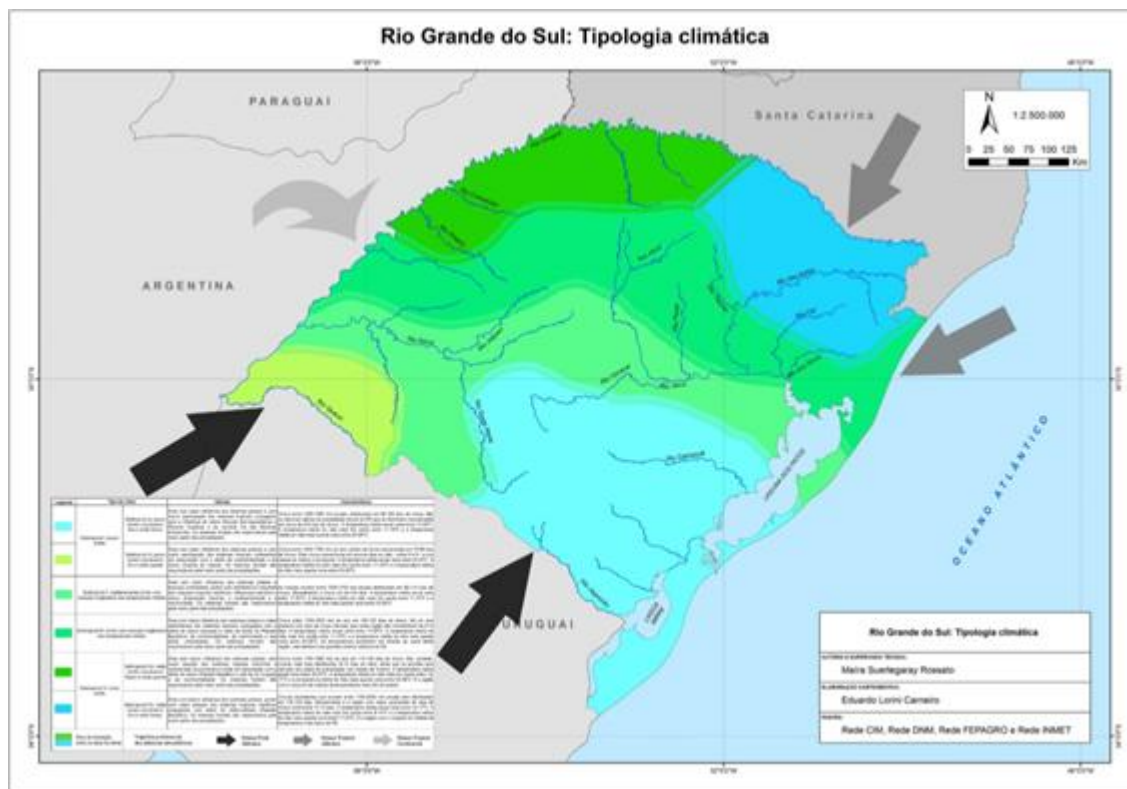
Segundo a classificação climática de Wladimir Köppen (Köppen, 1948), a BHTA apresenta dois tipos climáticos: temperado úmido, tipo Cfa (subtropical) com temperatura média do mês mais quente superior aos 22°C (verão quente) e o tipo Cfb com temperatura média do mês mais quente inferior aos 22°C (verão ameno). A letra “f” indica que em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm.

De acordo com Rossato (2011) a região da BHTA compreende dois tipos climáticos com menor influência dos sistemas polares (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**): Subtropical muito úmido com inverno frio e verão fresco (mais a nordeste), com maior atuação dos sistemas tropicais marítimos conjugados com o efeito do relevo-altitude (Planalto Basáltico); e Subtropical úmido com variação longitudinal das temperaturas médias (mais a sudoeste da BHTA), com maior interferência dos sistemas tropicais conjugados com o efeito do relevo (escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico), da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas. Em ambos os tipos climáticos, os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações.

A parte nordeste da BHTA, que compreende a maior área da bacia, segundo Rossato (2011) tem como características: precipitações pluviais abundantes que oscilam entre 1.700 a 2.000 mm anuais, bem distribuídas entre 130 a 150 dias. Mensalmente é a região com maior número de dias com precipitação pluvial, totalizando 12 a 15 dias. A temperatura média anual varia entre 14 e 17°C. A temperatura média

do mês mais frio oscila entre 8 e 14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 17 e 23°C. Esta é a região com o conjunto de médias de temperaturas mais baixas do Rio Grande do Sul (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

**Figura 2 - Rio Grande do Sul – Tipologia Climática.**



**Fonte: ROSSATO (2011).**

Já a parte sudoeste da BHTA, que compreende um número menor de municípios, é caracterizada por precipitação pluvial anual entre 1.700 a 1.800 mm, distribuída em 100 a 120 dias por ano. Mensalmente, o número de dias com precipitação pluvial é em torno de 9 a 12. A temperatura média anual varia entre 17 e 20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11 e 14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23 e 26°C. As temperaturas aumentam em direção ao oeste desta região, e também nos grandes centros urbanos.

A região também é afeta por Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), sendo o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) o mais destrutivo deles. São sistemas que possuem três características básicas: nuvens com topo muito frio, grande desenvolvimento vertical, forma horizontal circular com raio que pode chegar a 1.000 quilômetros e tempo de vida de no mínimo 6 horas. Na América do Sul formam-se comumente nas regiões de latitudes médias (entre as latitudes de 35°S e 50°S) e subtropicais

(entre 23°S e 35°S), abrangendo a região Sul do Brasil, dentre outras. Estes sistemas podem causar elevados valores de precipitação pluvial em poucas horas, precipitação de granizo, rajadas de vento e descargas elétricas.

**Figura 3 - Topografia e Subdivisões Climáticas e da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.**

**Clima Subtropical Muito Úmido**

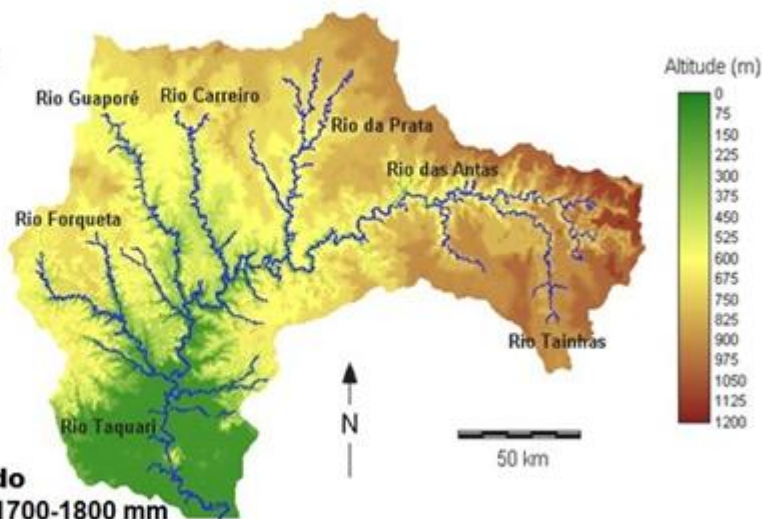
**Inverno frio / Verão fresco**

Precipitação Média/Anual 1700-2000 mm

Temp.Média 14-17°C

Temp.Min.Média 8-14°C

Temp.Máx.Média 17-23°C



**Clima Subtropical Úmido**

Precipitação Média/Anual 1700-1800 mm

Temp.Média 17-20°C

Temp.Min.Média 11-14°C

Temp.Máx.Média 23-26°C

Um dos fatores atmosféricos que fortemente colaboraram para a formação dos SCM é o estabelecimento do Jato de Baixos Níveis (JBN) de norte. Este se caracteriza por uma circulação atmosférica a leste da Cordilheira dos Andes, mais frequente nas estações de primavera e outono austrais. O JBN contribui para convecção severa no Rio Grande do Sul, transportando umidade proveniente da Amazônia para o Estado, aumentando a disponibilidade de umidade na camada limite planetária e favorecendo a instabilização da atmosfera. Esta disponibilidade de umidade é um fator importante para formação de grandes tempestades. Destaca-se também o cisalhamento do vento, estratificação de vapor, vortacidade dos jatos de baixos níveis e de altos níveis, e a convecção em baixos níveis de massa e umidade, como componentes que instabilizam a atmosfera proporcionando subsídios para a formação da convecção. Estas variáveis também são influenciadas pela topografia da região.

A combinação de passagens de massa de ar frio, advindas da região Antártida, encontrando uma região com ar quente e úmido sobre a região central e norte do Rio Grande do Sul, é a combinação perfeita para o desenvolvimento rápido de nuvens convectivas ou nuvens cumulonimbus em forma de torre.

As nuvens cumulonimbus, na sua maioria, se estendem verticalmente por toda a troposfera. Sua base pode situar-se entre 300 e 3.000 metros a partir do nível do solo e seu topo encontra-se normalmente na troposfera, entre 9.000 e 18.000 metros. Formam-se em decorrência da passagem de sistemas frontais, comuns na região, ou aquecimento na região. O conjunto dessas nuvens, em diversos estágios de seu desenvolvimento, forma um SCM.

Os principais fenômenos meteorológicos associados às nuvens cumulonimbus, que ocasionam efeitos destrutivos com grande impacto socioeconômico são: chuva forte, descargas elétricas, granizo, rajadas de vento fortes e, ocasionalmente, tornados. Mas infelizmente, no caso dos tornados que podem ocorrer na região, é difícil sua catalogação, pois não existem radares meteorológicos nos municípios pertencentes à bacia. Sendo esta a principal ferramenta para a análise de tornado. Em alguns casos, é possível verificar sua ocorrência através da análise do rastro de destruição causado pelo tornado.

Há três estágios de evolução de nuvens cumulonimbus ou tempestade convectiva (nuvens de grande desenvolvimento vertical): o estágio cumulus, o estágio maduro e o estágio dissipativo, descritos brevemente a seguir:

- **Estágio cumulus:** caracterizado por nuvens em forma de torres, alimentadas por convergência de umidade em níveis baixos e fortes movimentos ascendentes. Correntes de ar descendentes podem ser observadas próximo ao topo e junto ao flanco das nuvens, geradas pela presença de atrito entre as gotas de água. Pode ocorrer precipitação na parte superior das nuvens cumulus em desenvolvimento.

Movimentos descendentes associados às frentes de rajada e início de precipitação na camada inferior da nuvem caracterizam a mudança para a fase madura.

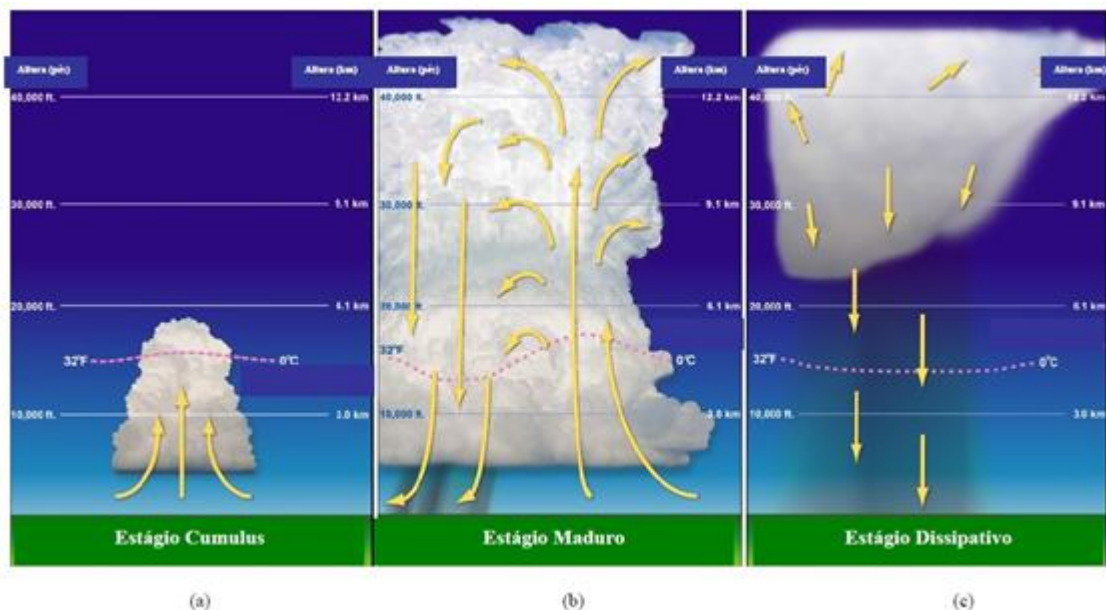
- **Estágio maduro:** há movimentos ascendentes em toda troposfera, e a divergência desses movimentos próximos à tropopausa provocam a formação da chamada bigorna da nuvem. Lá, os movimentos ascendentes ocorrem, principalmente, devido ao processo de condensação da água, o que promove a liberação de calor latente na nuvem. Ocorre também o processo de evaporação de gotas de água dentro da nuvem, ocasionando resfriamento e, conseqüentemente, movimento descendente que tomam a forma da frente de rajada. A definição dessa fase acontece quando as gotas da nuvem atingem a superfície do solo.

- **Estágio de dissipação:** caracterizado por movimentos descendentes em todos os níveis. Próximo ao solo, a divergência e o resfriamento evaporativo do ar alimentam a frente de rajada, que se distancia do caminho da nuvem. Dessa forma, as correntes de ar levantadas pela frente de rajada não conseguem mais abastecer os movimentos ascendentes da tempestade.



Todos estes estágios podem ser vistos a seguir na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que ilustra como se desenvolvem células convectivas (nuvens cumulonimbus) que se formam na região.

**Figura 4 - O (a) estágio cumulus, (b) estágio maduro, e o (c) estágio dissipativo de uma célula convectiva de vida curta.**



A metade norte do Rio Grande do Sul é a que apresenta o maior número de ocorrência de granizo, uma vez que a altitude da região associada a condições meteorológicas favoráveis cria condições para a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, que dão origem ao granizo.

### 3. DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1. Levantamento das estações meteorológicas de coleta de dados

Primeiramente, foi realizado um levantamento das estações meteorológicas localizadas no entorno e nos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. As variáveis meteorológicas medidas nas estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) são as seguintes: temperatura mínima, média e máxima (°C); umidade relativa (%); pressão atmosférica (hPa); precipitação (mm); direção do vento (°); velocidade do vento (m/s); número de dias com precipitação; e, insolação (horas).

Foram encontradas oito (08) estações meteorológicas convencionais pertencentes ao INMET nos municípios: Bento Gonçalves, Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria. No entanto, para as análises de climatologia e tendências climáticas as estações de Bento Gonçalves e Lagoa Vermelha não foram utilizadas, devido à presença de muitos anos com falhas.

A precipitação pluvial mensal foi obtida junto ao 8º DISME (INMET), as demais variáveis meteorológicas foram obtidas no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET, disponível no endereço eletrônico: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Além dessas, foram levantadas as estações pluviométricas localizadas nos municípios da bacia, pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), Departamento Estadual de Portos, Rios e Canais do Rio Grande do Sul (DEPRC) e da Secretária do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA). A listagem das estações é apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Tabela 1 - Relação de municípios e agências responsáveis e operadoras das estações pluviométricas existentes na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.**

NOME	ESTADO	MUNICÍPIO	RESPONSÁVEL	OPERADORA
Timbé do Sul	SC	Timbé do Sul	ANA	EPAGRI
Silveira	RS	São José dos Ausentes	ANA	CPRM
Bom Jesus	RS	Bom Jesus	INMET	INMET
Capela São José dos Ausentes	RS	São José dos Ausentes	CEEE	CEEE
Coxilha Rica	SC	Lages	ANA	CPRM
Invernada Velha	RS	Bom Jesus	ANA	CPRM
Passo da Garrafa	RS	Cambará do Sul	CEEE	CEEE
Passo Tainhas	RS	São Francisco de Paula	ANA	CPRM
Korff	RS	Vacaria	DEPRC	DEPRC
Cazuza Ferreira	RS	São Francisco de Paula	ANA	CPRM
Monte Alegre dos Campos	RS	Monte Alegre dos Campos	ANA	CPRM
Passo do Honorato	RS	Bom Jesus	BAESA	BAESA
Vista Alegre	RS	Vista Alegre do Prata	DEPRC	DEPRC
André da Rocha	RS	Lagoa Vermelha	DEPRC	DEPRC
Antônio Prado	RS	Antônio Prado	ANA	CPRM
Araca	RS	Nova Prata	DEPRC	DEPRC
Casca I	RS	Casca	CEEE	CEEE
Dois Lajeados	RS	Dois Lajeados	DEPRC	DEPRC

<b>NOME</b>	<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>	<b>OPERADORA</b>
Encruzilhada Ii	RS	Lagoa Vermelha	CEEE	CEEE
Ituim (Entre Rios)	RS	Vacaria	CEEE	CEEE
Fagundes Varela	RS	Veranópolis	CEEE	CEEE
Fazenda Roseira	RS	Vacaria	CEEE	CEEE
Guaporé	RS	Guaporé	INMET	INMET
Linha Gomercindo	RS	Antônio Prado	DEPRC	DEPRC
Nova Roma	RS	Nova Roma do Sul	DEPRC	DEPRC
Paraí	RS	Paraí	DEPRC	DEPRC
Passo das Pedras	RS	Ibiaça	CEEE	CEEE
Passo do Prata	RS	Veranópolis	ANA	CPRM
Passo Migliavaca	RS	Casca	ANA	CPRM
Ponte Santa Rita	RS	Lagoa Vermelha	ANA	ANA
Prata	RS	Nova Prata	ANA	CPRM
Segredo	RS	Vacaria	CEEE	CEEE
Serafina Corrêa	RS	Serafina Corrêa	CEEE	CEEE
Trinta e Cinco	RS	David Canabarro	CEEE	CEEE
Pch Guaporé	RS	Guaporé	HIDROTÉRMICA	HIDROTÉRMICA
Usina Saltinho	RS	Vacaria	CEEE	CEEE
Veranópolis	RS	Veranópolis	DEPRC	DEPRC
Cotiporã	RS	Cotiporã	DEPRC	DEPRC
Guaporé	RS	Guaporé	ANA	CPRM
Muitos Capões	RS	Muitos Capões	ANA	CPRM
Nossa Senhora de Fátima	RS	Lagoa Vermelha	ANA	CPRM
Arvorezinha	RS	Arvorezinha	DEPRC	DEPRC
Auler	RS	Soledade	CEEE	CEEE
Pch Capigui Barramento	RS	Marau	CEEE	CEEE
Ernestina	RS	Ernestina	DEPRC	DEPRC
Ilópolis	RS	Ilópolis	CEEE	CEEE
Marau	RS	Marau	CEEE	CEEE

<b>NOME</b>	<b>ESTADO</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>	<b>OPERADORA</b>
Maurício Cardoso	RS	Arvorezinha	DEPRC	DEPRC
Pulador	RS	Passo Fundo	CEEE	CEEE
Pch Capigui Jusante	RS	Marau	CEEE	CEEE
Pch Ernestina Jusante	RS	Passo Fundo	CEEE	CEEE
Vila Três Passos	RS	Marau	CEEE	CEEE
Campo do Meio	RS	Gentil	ANA	CPRM
Soledade	RS	Soledade	ANA	CPRM
Sombrio	SC	Sombrio	ANA	EPAGRI
Azulega	RS	Cambará do Sul	CEEE	CEEE
Barragem Blang	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Barragem Divisa	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Barragem Salto	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Cambará do Sul	RS	Cambará do Sul	CEEE	CEEE
Camisas	RS	Cambará do Sul	CEEE	CEEE
Fazenda do Passo Raso	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Lajeado Grande	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Seca	RS	Caxias Do Sul	CEEE	CEEE
Tainhas	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Faxinal dos Pelúcius	RS	São Francisco de Paula	CEEE	CEEE
Cambará Do Sul	RS	Cambará do Sul	INMET	INMET
Vila Tainhas	RS	São Francisco de Paula	ANA	CPRM
Bento Gonçalves	RS	Bento Gonçalves	INMET	INMET
Carlos Barbosa	RS	Carlos Barbosa	DEPRC	DEPRC
Encantado	RS	Encantado	ANA	CPRM
Encantado	RS	Encantado	DEPRC	DEPRC
Estrela	RS	Estrela	SOPRS	SOPRS
Flores Da Cunha	RS	Flores da Cunha	DEPRC	DEPRC

NOME	ESTADO	MUNICÍPIO	RESPONSÁVEL	OPERADORA
Lajeado	RS	Lajeado	ANA	ANA
Monte Belo	RS	Bento Gonçalves	CEEE	CEEE
Monte Claro	RS	Veranópolis	CEEE	CEEE
Nova Palmira	RS	Caxias do Sul	ANA	CPRM
São Vendelino	RS	São Valério do Sul	ANA	CPRM
Taquari	RS	Taquari	INMET	INMET
Vila Scharlau	RS	Estância Velha	CEEE	CEEE
Barra do Zeferino	RS	Encantado	DEPRC	DEPRC
Vila Progresso	RS	Progresso	DEPRC	DEPRC
Lajeado	RS	Lajeado	INMET	INMET
Muçum	RS	Muçum	ANA	CPRM
Barros Cassal	RS	Barros Cassal	ANA	CPRM
Barros Cassal	RS	Barros Cassal	DEPRC	DEPRC
Marques de Sousa	RS	Arroio do Meio	DEPRC	DEPRC
Nova Brescia	RS	Nova Brescia	DEPRC	DEPRC
Rio Pardo	RS	Rio Pardo	DEPRC	DEPRC
Pouso Novo	RS	Pouso Novo	DEPRC	DEPRC
Candelária	RS	Candelária	ANA	CPRM
Herveiras	RS	Herveiras	ANA	CPRM
Boqueirão do Leão	RS	Boqueirão do Leão	ANA	CPRM
Deodoro	RS	Venâncio Aires	ANA	CPRM
São José do Herval	RS	São José do Herval	ANA	CPRM
Coloninha	RS	Arroio do Tigre	CEEE	CEEE
Guaíba Country Club	RS	Guaíba	ANA	CPRM
Butiá	RS	Butiá	ANA	CPRM
Capivarita (Capivari)	RS	Pantano Grande	DEPRC	DEPRC

### 3.2. Levantamento dos eventos extremos

Os eventos extremos tratados neste estudo foram baseados na classificação adotada pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, que os definem a partir dos decretos de situação de emergência. A

quantificação destes eventos, segundo a Defesa Civil, é realizada em termos da magnitude do desastre, sendo determinado em razão da intensidade dos danos e prejuízos ocorridos.

A execução dessa etapa foi desenvolvida com base nos dados referentes aos decretos de situação de emergência e de estado de calamidade ocorridos nos municípios da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), obtidos junto à Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul no período de 2000 a 2013.

### **3.3. Mapeamento de locais e eventos extremos registrados**

Foi realizado um georreferenciamento dos locais e quantidade de registros nos municípios listados na região considerada.

### **3.4. Análise de eventos meteorológicos**

Baseando-se em informações da Defesa Civil, foram relacionados para esta análise apenas os registros de inundações, enxurradas, vendavais e tempestades, dos eventos ocorridos do ano de 2008 até 2013. Para este fim foram obtidas cartas sinóticas de baixos níveis (1.000 e 850 hPa), níveis médios (500 hPa) e altos níveis (250 hPa) da troposfera, através do Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (GPT/CPTEC/INPE). Também foram utilizadas imagens de satélite de 24 horas anteriores à ocorrência dos eventos e as imagens da data do evento, solicitadas à Divisão de Satélites (DSA) do mesmo órgão.

### **3.5. Relação ENOS e precipitação**

Para estudar a variabilidade da precipitação, deve-se considerar a influência dos oceanos, pois estes possuem um papel determinante nos fluxos de calor sensível e latente. Ambos disponibilizam umidade e calor para a atmosfera e são fundamentais para o padrão de convecção e das precipitações.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno atmosférico-oceânico de grande escala, que se caracteriza através das anomalias positivas ou negativas na temperatura da superfície do oceano Pacífico Equatorial (Temperatura da Superfície do Mar -TSM). Este fenômeno tem relação direta com regime de precipitação na América do Sul, uma vez que as características do evento ENOS influenciam significativamente as variáveis meteorológicas e, conseqüentemente, o padrão de precipitação pluvial no Sul do Brasil (GRIMM & FEUSSER, 2006; BARBIERI *et al.*, 2008; SILVA, 2013). Segundo Streck *et al.* (2009) a alta variabilidade interanual está associada ao fenômeno ENOS. Este ocasiona no Rio Grande do Sul, precipitação acima da normal na fase quente (El Niño) e precipitação pluvial abaixo da normal climatológica na fase fria (La Niña).

A fim de demonstrar essa dependência entre as diversas variáveis em cada uma das categorias de anos de El Niño (EL), La Niña (LN) e anos neutros (N) e sua influência em casos de eventos extremos ocorridos no Rio Grande do Sul foram relacionados os anos em que houve casos de inundações (mais graves ou importantes) com a ocorrência de eventos ENOS e como (ou se) a magnitude destes está relacionada com casos mais elevados de inundações. Para tal foram utilizados dados de inundações ocorridas entre os anos de 1961 a 2013 (total de 53 anos) nos registros da Agência nacional de Águas (ANA), apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Tabela 2 - Registro de inundações Bacia Hidrográfica Taquari- Antas no período de 1961 até 2013.**

Data da inundação	Cota de inundação	Elevação ao NR	Magnitude da inundação
30/09/1961	22,8	9,8	Média
18/10/1963	22,7	9,7	Média
22/08/1965	25,9	12,9	Grande
06/08/1966	22	9	Reduzida
21/09/1967	25,6	12,6	Grande
29/08/1972	23,4	10,4	Média
21/09/1972	21,2	8,2	Reduzida
03/08/1977	21,1	8,1	Reduzida
19/08/1977	23,9	10,9	Média
30/06/1982	24,96	11,96	Média
25/10/1982	22,7	9,7	Média
13/11/1982	21,2	8,2	Reduzida
10/07/1983	24,75	11,75	Média
19/08/1983	22,28	9,28	Média
15/09/1988	24,25	11,25	Média
26/09/1988	22,35	9,35	Média
13/09/1989	25,2	12,2	Grande
25/09/1989	25,9	12,9	Grande
02/06/1990	26,64	13,64	Grande
16/10/1990	22,1	9,1	Média
29/05/1992	25,35	12,35	Grande
05/08/1997	25,6	12,6	Grande
13/10/2000	23,45	10,45	Média
22/07/2001	26,3	13,3	Grande
03/10/2001	26,95	13,95	Grande
13/06/2002	22,3	9,3	Média
21/02/2003	21,75	8,75	Reduzida
08/07/2003	19,59	6,59	Reduzida
25/10/2003	20,73	7,73	Reduzida
15/12/2003	20,38	7,38	Reduzida
19/05/2005	20,94	7,94	Reduzida

17/10/2005	22,95	9,95	Média
27/07/2006	19,86	6,86	Reduzida
11/07/2007	24,51	11,51	Média
24/09/2007	26,25	13,25	Grande
27/10/2008	26,65	13,65	Grande
10/08/2009	21,55	8,55	Reduzida
12/09/2009	24,5	11,5	Média
28/09/2009	21,75	8,75	Reduzida
05/01/2010	23,95	10,95	Média
23/09/2010	21,55	8,55	Reduzida
21/07/2011	26,85	13,85	Grande
10/08/2011	24,66	11,66	Média

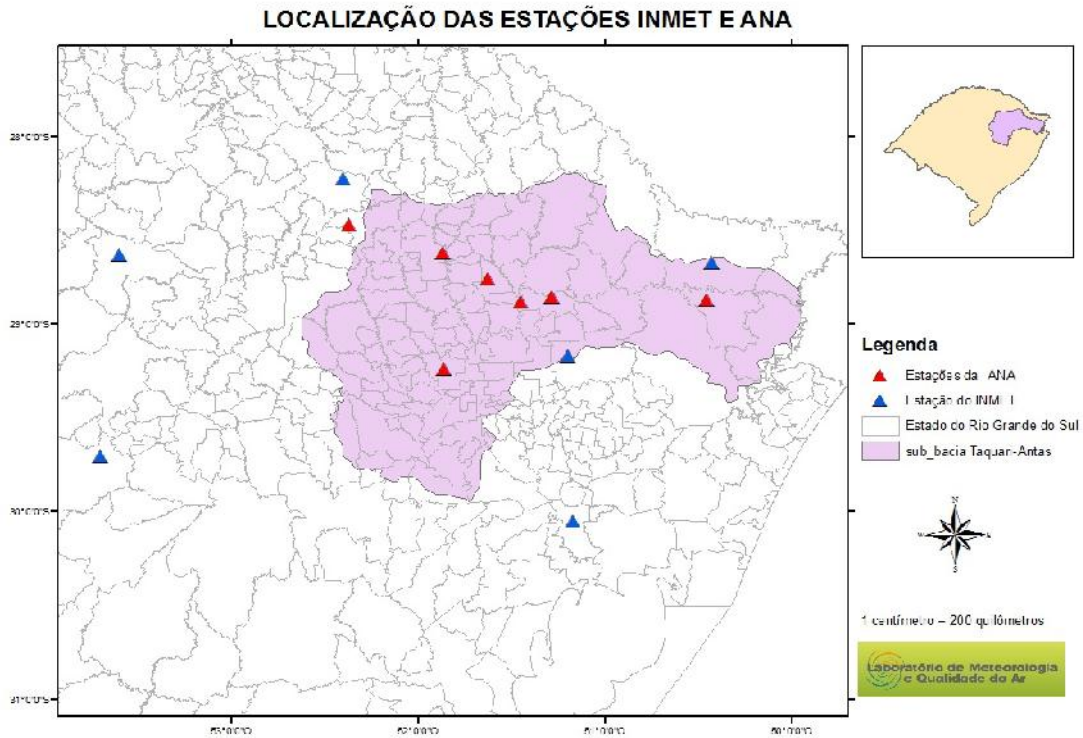
A partir destes eventos consideraram-se os anos de ocorrência de ENOS tanto da fase quente quanto da fria (EN e LN), além dos anos de neutralidade. Este levantamento foi realizado através de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Os eventos de EN e LN foram caracterizados em forte, fraco e moderados e a partir destes foi realizada a análise de sua influência na precipitação, ou seja, como os três diferentes tipos de eventos a influenciam.

### 3.6. Climatologia e tendências climáticas

Para análise de climatologia (anual, sazonal e mensal) e de tendências climáticas (anual e sazonal) da precipitação pluvial foram utilizados dados das seis estações meteorológicas convencionais do INMET de: Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Passo Fundo, Porto Alegre e Santa Maria; e das estações apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foram utilizadas sete estações pluviométricas de: Antônio Prado, Casca, Encantado, Marau, Nova Prata, São Francisco de Paula e Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), para uniformizar o período de análise de 1961 a 2012.



**Figura 5 - Localização das estações meteorológicas convencionais do INMET e pluviométricas da ANA na Região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.**



A significância estatística das tendências climáticas, de aumento/redução, da precipitação pluvial anual e sazonal, no período de 1961 a 2012, foi avaliada pelo teste T-Student, ao nível de probabilidade de erro de 10%.

## 4. RESULTADOS

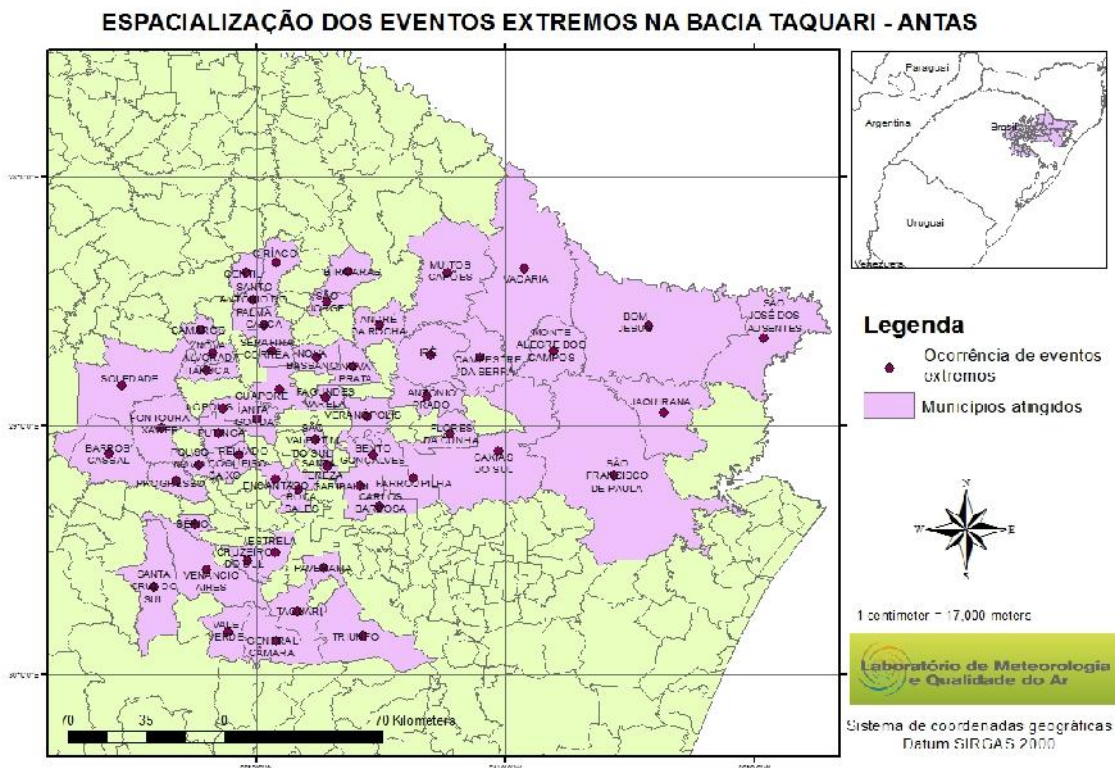
### 4.1. PRODUTO 2.5. ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

#### 4.1.1. Eventos Extremos x Decreto de emergência

Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) em seu 4º relatório publicado no ano de 2007 define-se evento extremo como um evento que é raro em um determinado lugar e época do ano. Um exemplo simples é: um município registra precipitação média mensal de 100 mm em 30 anos. Porém, se esta precipitação ocorre em um curto intervalo de tempo, 24h, por exemplo, o evento é considerado extremo.

Os municípios com ocorrência de eventos extremos segundo os decretos, obtidos junto à Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul no período de 2000 a 2013 são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na qual se observa que os eventos extremos se distribuem em praticamente todos os municípios da BHTA.

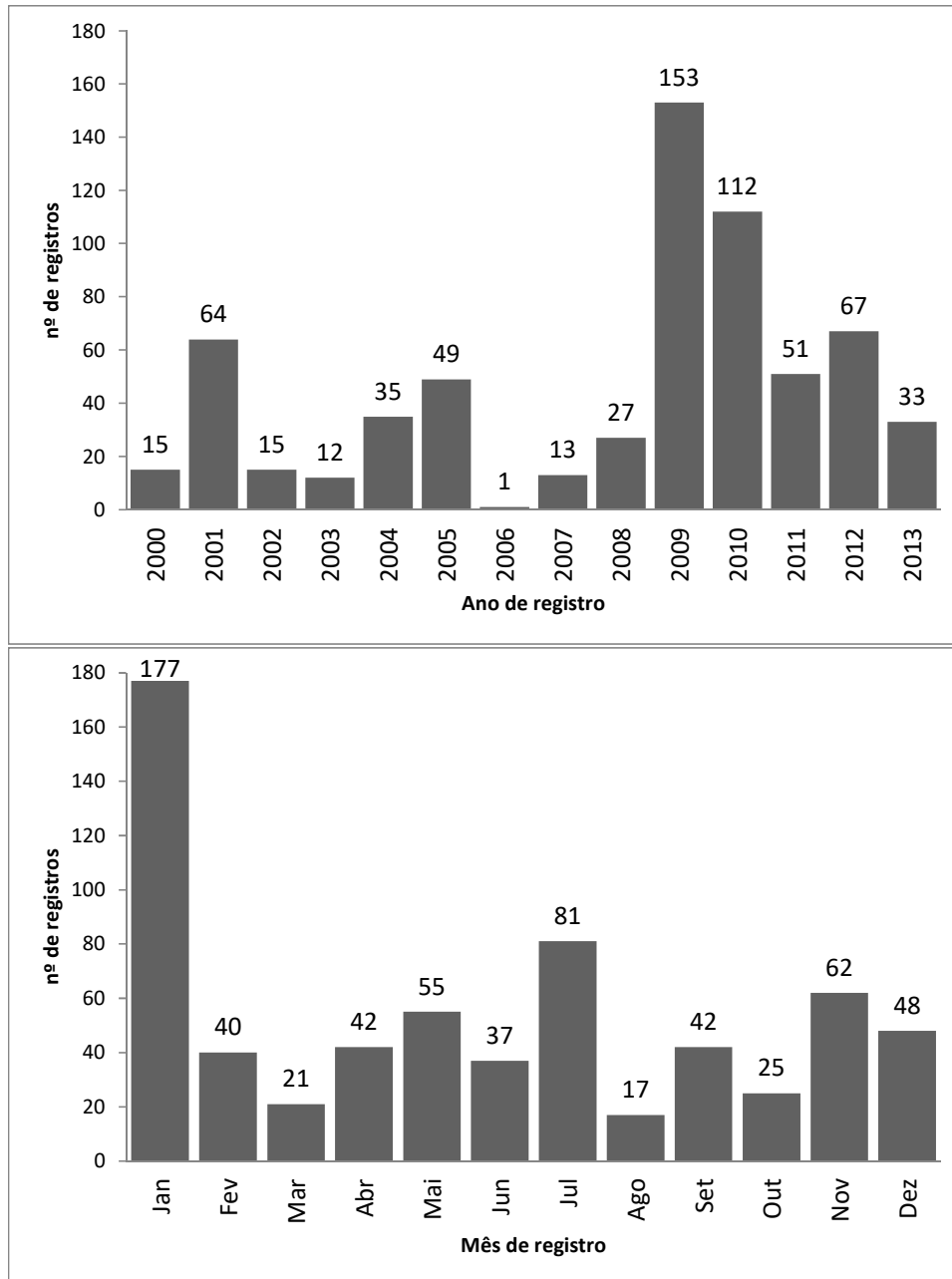
**Figura 6 - Espacialização dos eventos extremos registrados na BHTA no período de 2000 a 2013.**



Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentados os números de ocorrências de eventos extremos anuais e mensais. O ano de 2009 foi o ano em que ocorreu o maior número de casos, com total

de 153 decretos (El Niño fraco). E 2006 (El Niño fraco) foi o ano com o menor número de ocorrências, apenas 1 (um) registro. Já na análise mensal janeiro, em média, registrou o maior número de ocorrências (177). Agosto e março foram os meses que apresentaram as menores quantidades de registros de eventos extremos, 17 e 21, respectivamente.

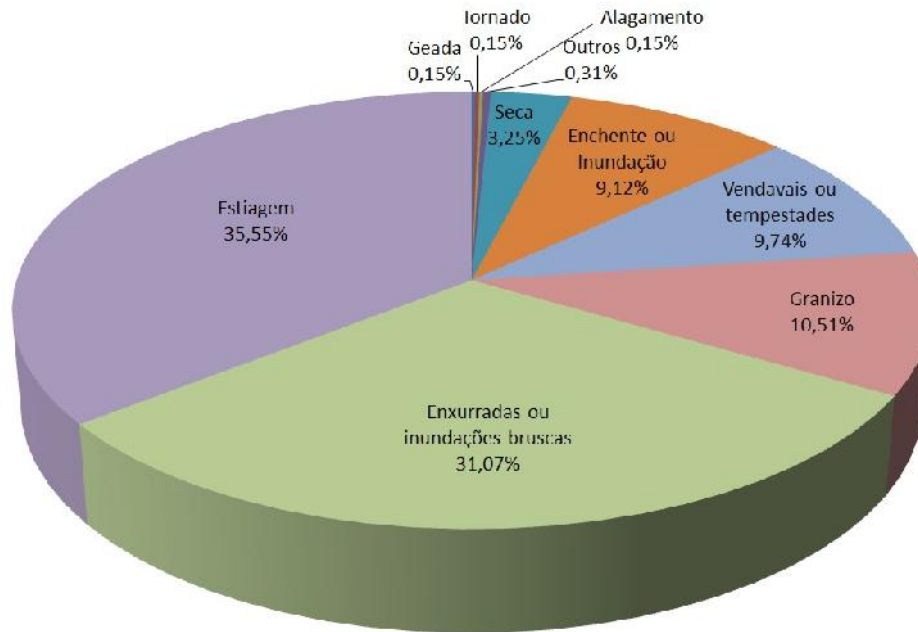
**Figura 7 - Número de ocorrência de eventos extremos anuais e mensais, no período de 2000-2013.**



Os dados referentes aos decretos de situação de emergência e de estado de calamidade, obtidos junto à Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul no período de 2000 a 2013 são apresentados na **Erro!**

**Fonte de referência não encontrada.**, na qual se observa que a maior parte dos eventos extremos registrados na região, em torno de 60,7% é em função de grande volume de precipitação pluvial e ventos fortes. Apenas 38,8% dos registros foram relacionados à estiagem e seca.

**Figura 8 - Percentual de eventos extremos ocorridos na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas no período de 2000-2013 (Segundo a nova classificação da COBRADE (2012), em “Enchente ou inundação” leia-se Inundação, e “Enxurradas ou inundações bruscas” leia-se Enxurradas).**



#### 4.1.2. Análise dos Eventos Extremos

Com o intuito de uniformização e simplificação foi instituída por meio da Instrução Normativa nº1, de 24 de agosto de 2012, a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Segundo o novo COBRADE (2012) as inundações passaram a ser classificadas no grupo dos desastres hidrológicos, ao lado de enxurradas e alagamentos. Embora haja uma grande divergência entre os cientistas, as enchentes podem ser consideradas uma categoria de inundação. E, segundo Castro (2003), podem ser distinguidas conforme o padrão evolutivo: as inundações graduais (enchentes) e inundações bruscas (enxurradas). Em ambas a precipitação é o fator determinante.

##### 4.1.2.1. Inundações

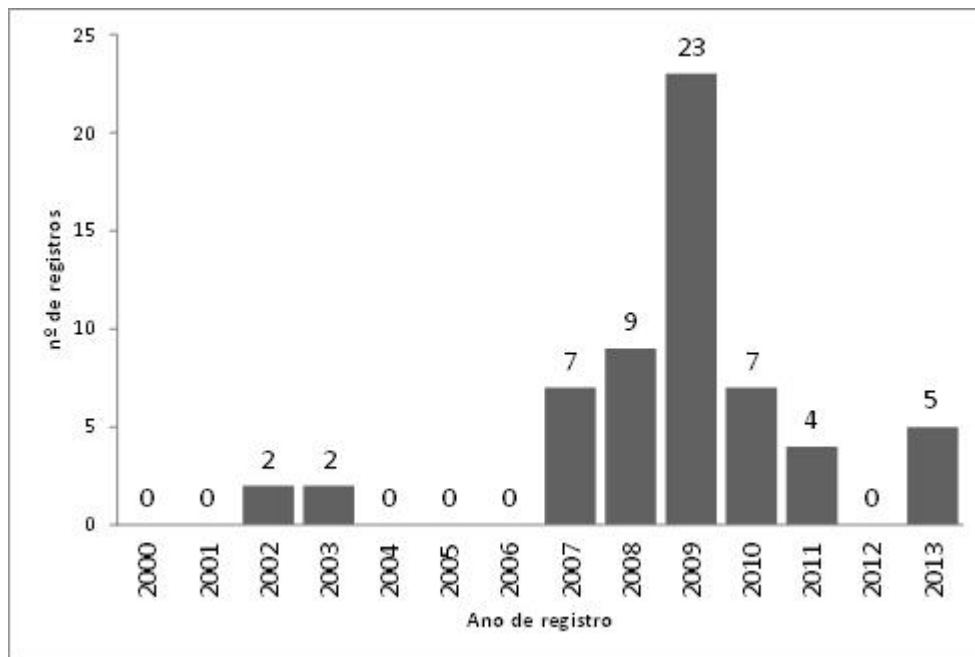
De acordo com Castro (2003), nas inundações graduais (leia-se Inundação, segundo a COBRADE, 2012), as águas elevam-se de forma gradual e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo para, então, escoar gradualmente. Em geral, estas são cíclicas e sazonais e intensificadas por variáveis climáticas de médio e longo prazo, sendo pouco influenciáveis por variações diárias do tempo.

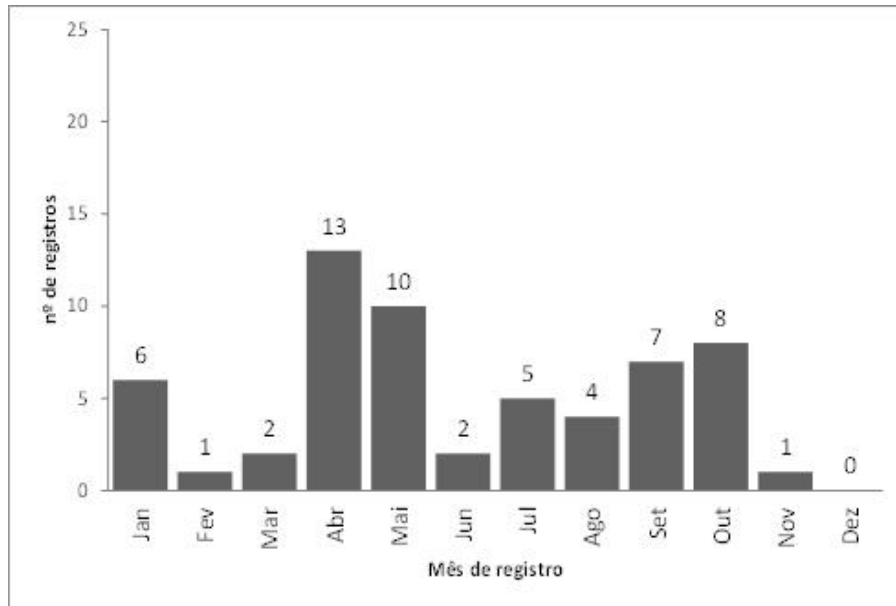
As inundações estão associadas mais às precipitações frontais que, geralmente, são de maior duração e caracterizadas por sua abrangência e grande extensão, ocorrendo principalmente em grandes bacias hidrográficas e em rios de planície.

Ainda no que diz respeito às terminologias associadas, os termos alagamento e cheia muitas vezes, são utilizados como sinônimo de inundações. No entanto, alagamento pode ser definido como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial (MINISTÉRIOS DAS CIDADES/IPT, 2007). E, cheia é definida pela alta das águas, que podem permanecer no leito menor do curso de água. A partir do momento que este não é mais capaz de conter o escoamento a água transborda e se espalha pelo leito maior, provocando uma inundação. Pode haver, portanto, uma cheia sem inundação (VEYRET, 2007). Portanto, na inundação, há a elevação do nível de água normal, atingindo tal magnitude que as águas não se limitam à calha principal do rio, extravasando para áreas marginais, habitualmente não ocupadas pelas águas.

**NaErro! Fonte de referência não encontrada.** se observa a distribuição anual e mensal dos 59 casos de inundações, registrados do ano 2000 até 2013 (9,12% dos eventos extremos) na região da BHTA. A maior parte dos casos de inundações ocorreu no ano de 2009, e, principalmente, nos meses das estações de transição, outono (abril e maio) e primavera (setembro e outubro).

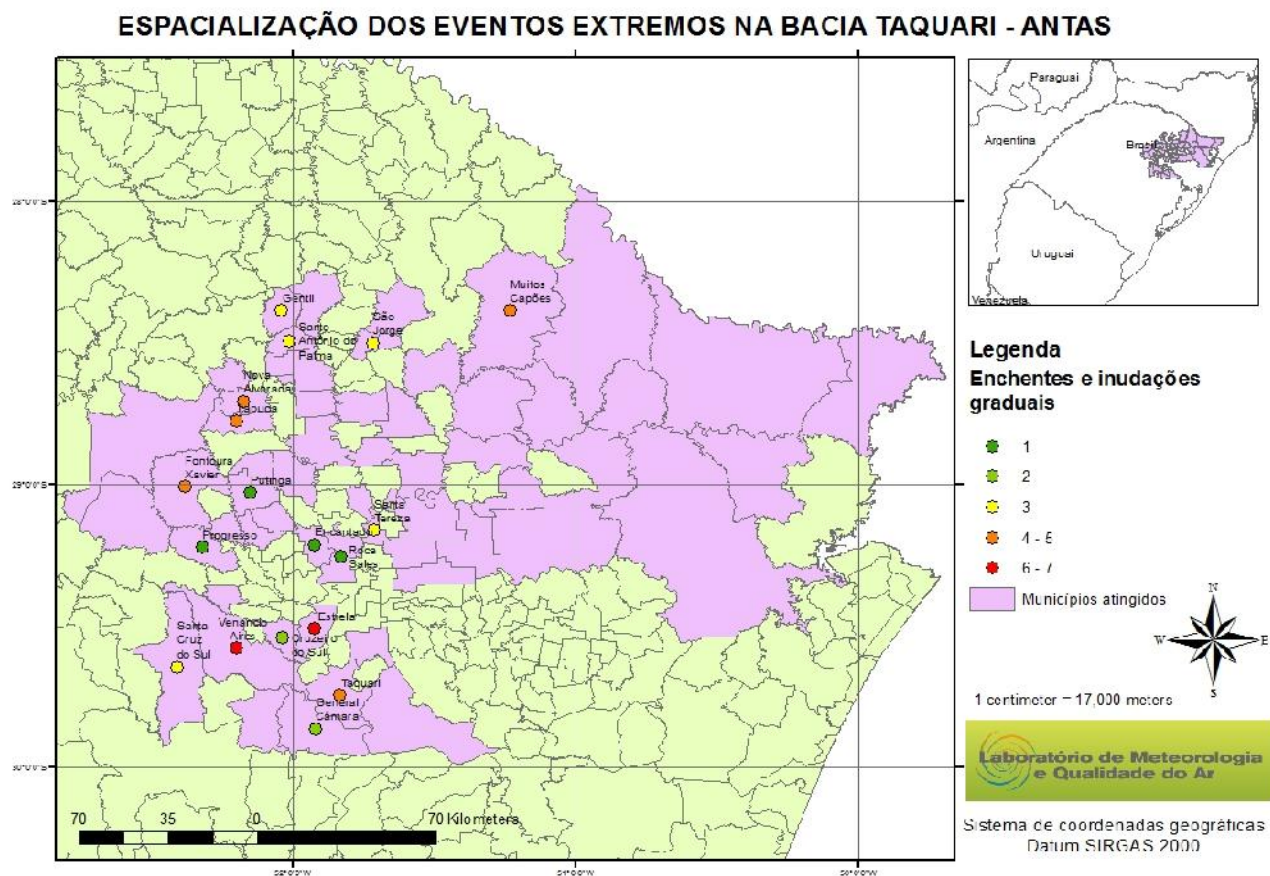
**Figura 9 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de enchentes ou inundações graduais (Inundações, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013.**





Na Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar os municípios da BHTA atingidos pelas inundações no período de 2000 a 2013.

**Figura 10 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de enchentes ou inundações graduais (Inundações, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013.**

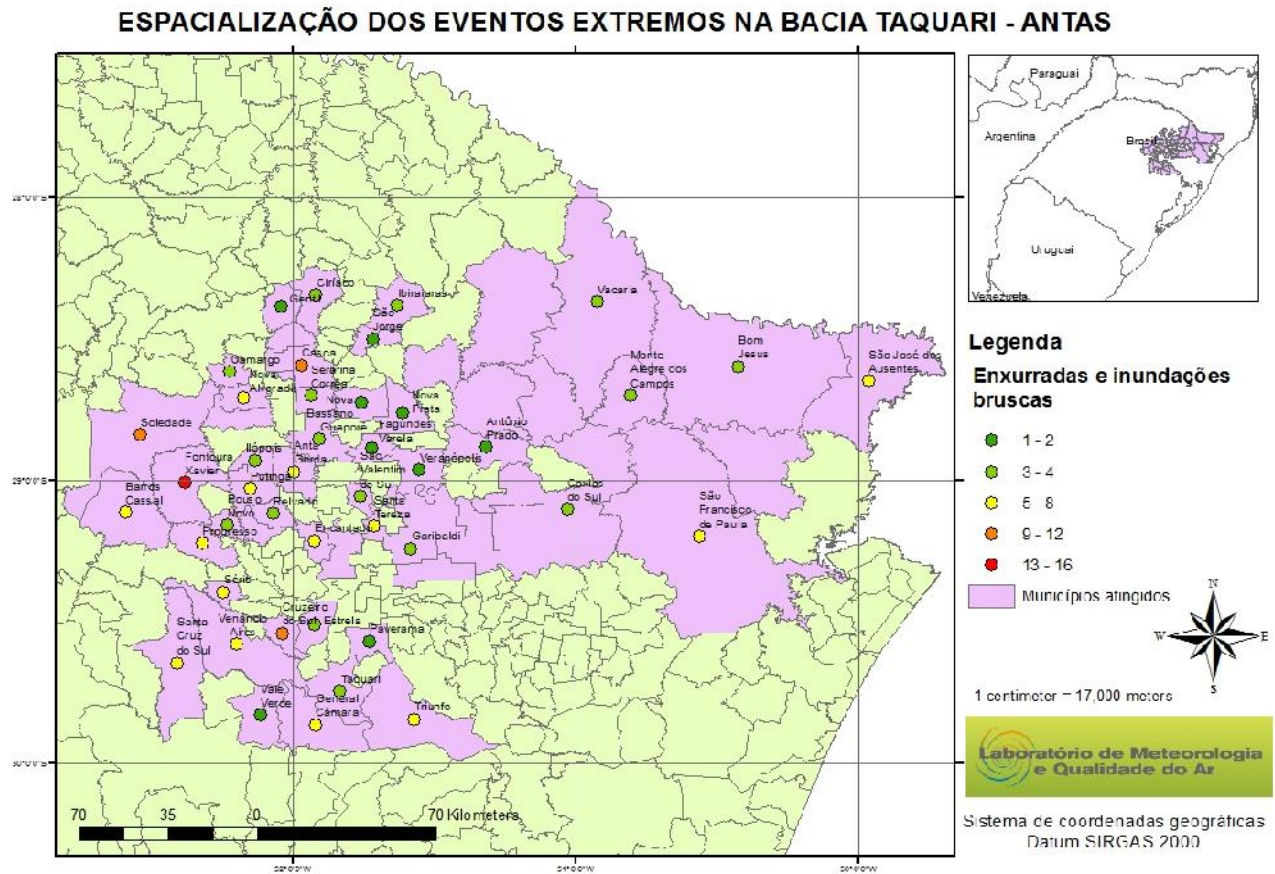


#### 4.1.2.2. Enxurradas

As enxurradas são caracterizadas por inundações bruscas, com sua ocorrência associada às precipitações pluviais intensas e concentradas. E, também, são caracterizadas por produzirem súbitas e violentas elevações nos níveis d'água dos corpos hídricos, escoando de forma rápida e intensa. Portanto, este evento está diretamente relacionado à dinâmica fluvial, que por sua vez está associada à precipitação (força).

Muitas vezes, as enxurradas ocorrem associadas a áreas mais íngremes e em bacia de tamanho médio ou pequeno, sendo que a inclinação do terreno, ao favorecer o escoamento contribui para intensificar a torrente e causar danos. Portanto, são comuns em regiões de relevo acidentado (Kobiyama *et al.*, 2006). De acordo com a espacialização desse tipo de evento, novamente, pode-se observar que toda a região da BHTA já foi atingida por esse tipo de catástrofe (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). No entanto, o maior número de ocorrências de enxurradas concentra-se no oeste e sudoeste da BHTA.

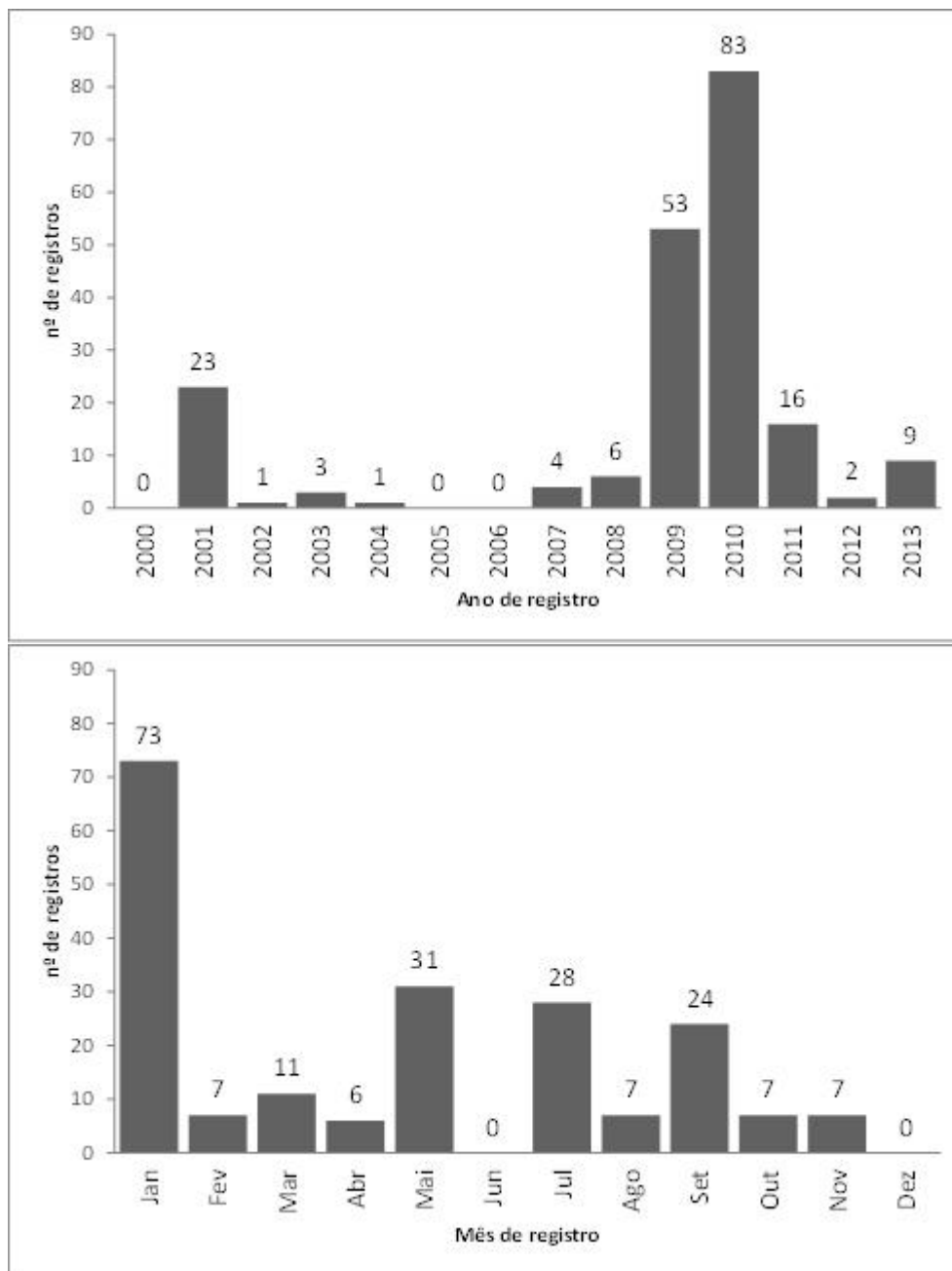
**Figura 11 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas (Enxurradas, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013.**



Segundo os dados da Defesa Civil (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), o ano em que houve mais emissões de decretos de emergência por enxurradas foi 2010, com 83 ocorrências. Na análise mensal, o número de registros foi maior no mês de janeiro (verão), 73 casos de enxurradas



**Figura 12 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de enxurradas ou inundações bruscas (Enxurradas, segundo COBRADE, 2012) no período de 2000-2013.**



#### 4.1.2.3. Vendavais e tempestades

Com relação ao vento, sabe-se que é um fenômeno meteorológico formado pelo movimento do ar na atmosfera, gerado através de fenômenos naturais. Existem vários elementos meteorológicos, como pressão atmosférica, radiação solar, umidade do ar e evaporação, que podem influenciar diretamente na

formação e características do vento, fazendo com que este possa ser mais forte (ventania) ou suave (brisa).

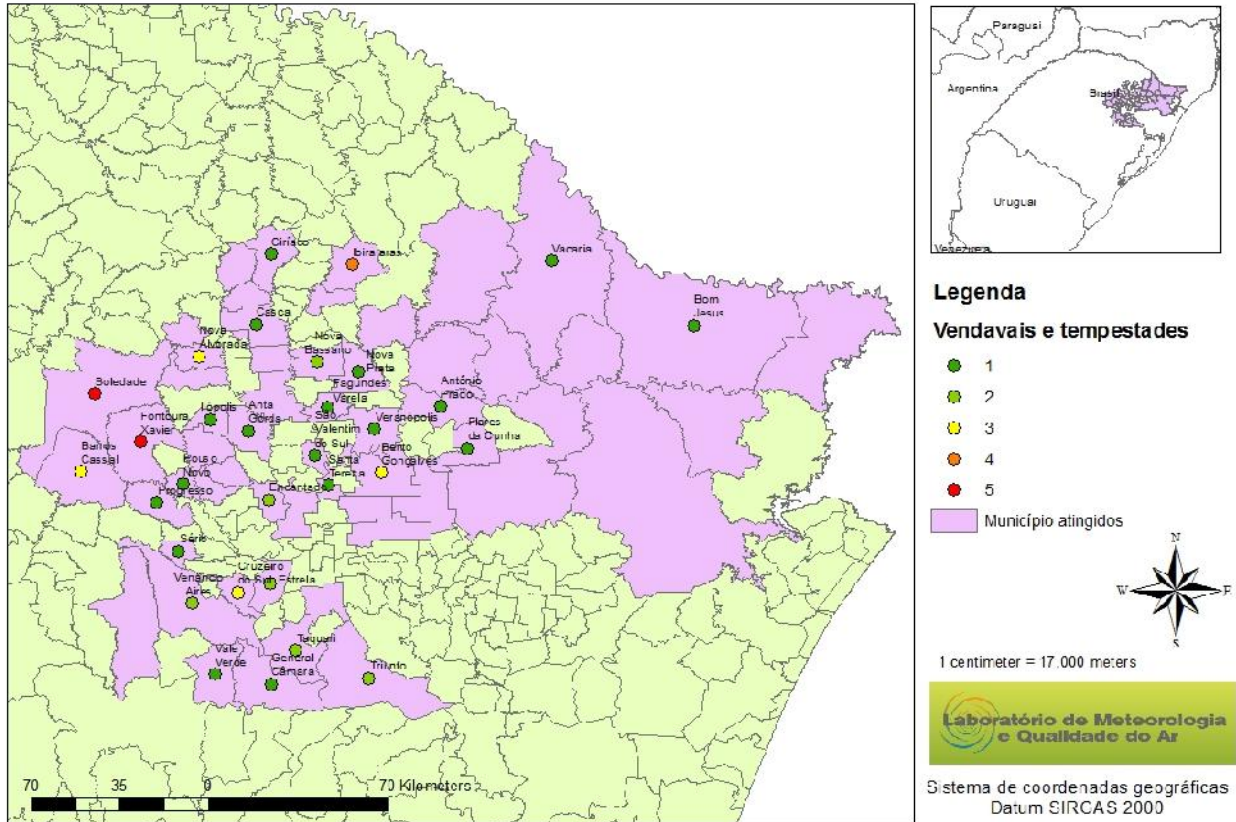
Os ventos fortes ou vendavais são perturbações marcantes no estado normal da atmosfera, sendo o deslocamento violento de uma massa de ar, de uma área de alta pressão para outra de baixa pressão. Esses ventos, segundo a Defesa Civil, correspondem ao número 10 na escala de Beaufort, cujas velocidades, variam entre 88 a 102 km/h, sendo normalmente acompanhados por precipitações intensas e pontuais que caracterizam as tempestades. No Brasil, os vendavais são mais frequentes nos Estados da Região Sul: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

O padrão de vento é definido pela localização geográfica, com predominância de ventos do quadrante leste provocados por fenômenos de alta e baixa pressão. As regiões da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas mais atingidas por vendavais e tempestades, são as que se encontram mais para o interior do continente, na área oeste da BHTA (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

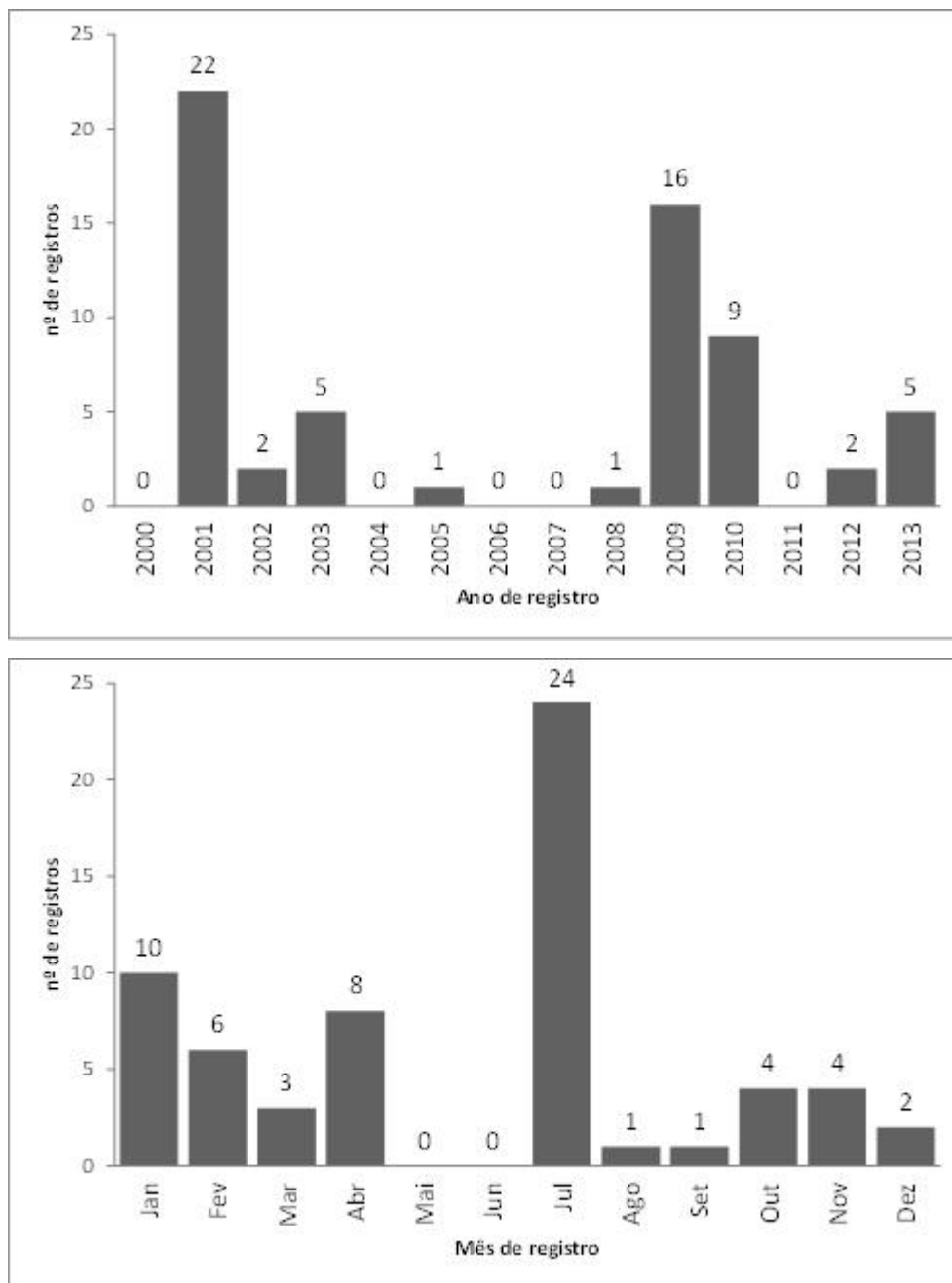
De acordo com as informações da Defesa Civil (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), observa-se que os anos de 2001 e 2009 foram os que tiveram o maior número de decretos, devido à ocorrência de ventos fortes. Na análise mensal observa-se que a ocorrência é maior em julho (inverno) e volta a aumentar no auge do verão (janeiro).

**Figura 13 - Espacialização dos eventos extremos, relacionados à ocorrência de vendavais e tempestades no período de 2000-2013.**

**ESPACIALIZAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS NA BACIA TAQUARI - ANTAS**



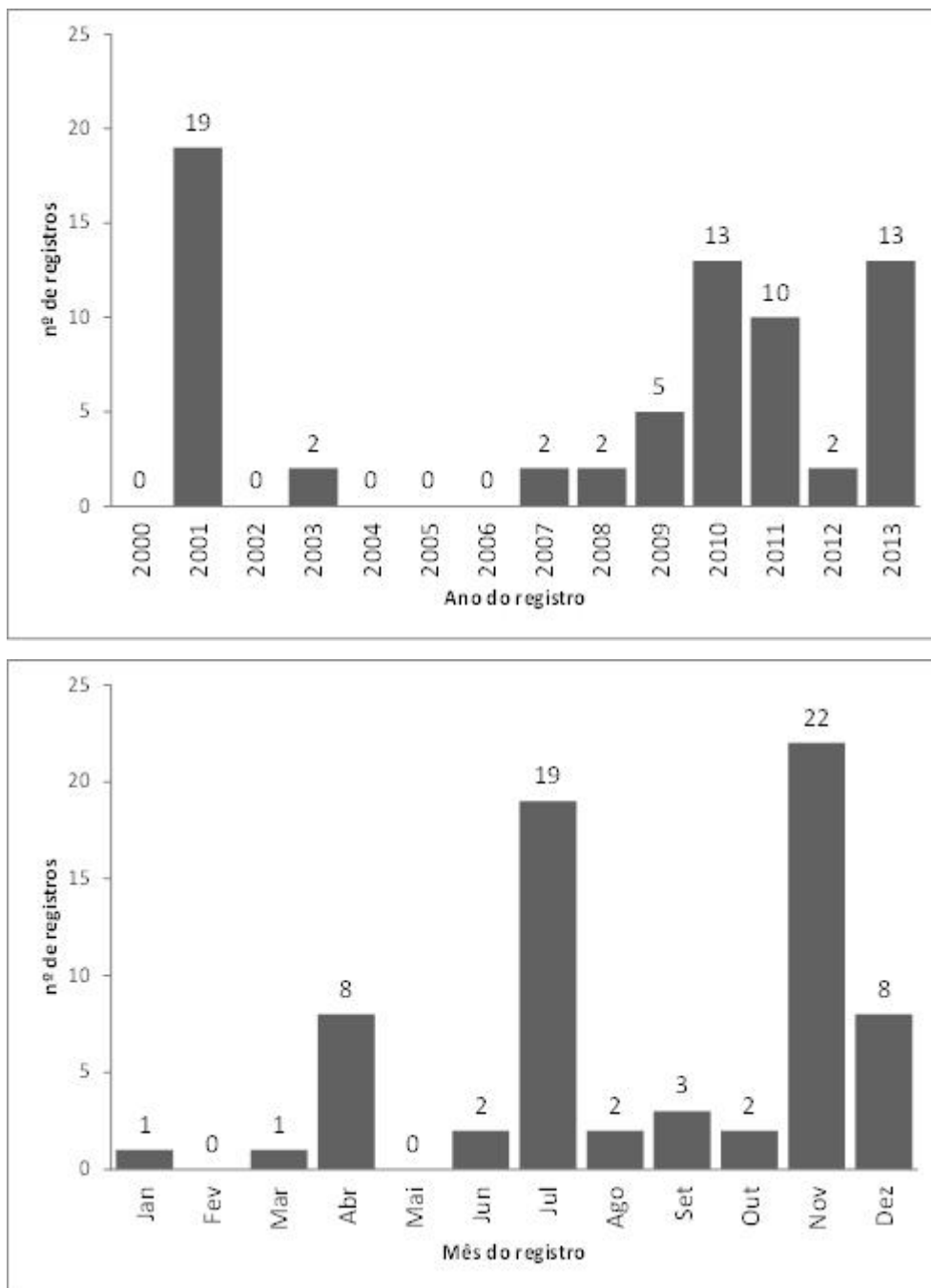
**Figura 14 - Número de ocorrência de eventos extremos, relacionados à ocorrência de vendavais e tempestades no período de 2000-2013.**



#### 4.1.2.4. Granizo

Observa-se, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que no período de 2000 a 2013, 2001 foi o ano em que houve o maior número de registros de ocorrência de granizo na região da BHTA. Os meses de maior ocorrência de granizadas no período de estudo foram novembro (22) e julho (19).

**Figura 15 - Número de ocorrência de eventos extremos anuais e mensais, referentes à queda de granizo no período de 2000-2013.**



#### 4.1.3. Análise das condições meteorológicas na ocorrência de eventos extremos

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são apresentados os 76 registros e os municípios onde ocorreram eventos de inundações, enxurradas, alagamentos, vendavais ou tempestades, e vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais a partir do ano de 2008 até o final de 2013. Esse intervalo foi

escolhido pela disponibilidade de imagens de satélites e cartas sinóticas, ferramentas de auxílio às análises dos eventos atmosféricos.

**Tabela 3 - Ocorrência dos eventos extremos nos municípios da Bacia Hidrográfica Taquari – Antas no período de 2008 a 2013 (Fonte: Defesa Civil/RS).**

Data	Registro	Município
04/01/2008	Enxurradas	Anta Gorda
18/03/2008	Inundações	Progresso
10/09/2008	Vendavais ou tempestades	Triunfo
22/10/2008	Enxurradas	Fontoura Xavier
26/10/2008	Inundações	Encantado/ Santa Tereza
26/10/2008	Inundações	
27/10/2008	Inundações	Roca Sales/ Estrela/ Taquari/ Venâncio Aires
28/10/2008	Inundações	Cruzeiro do Sul
06/11/2008	Enxurradas	Soledade
08/01/2009	Vendavais ou tempestades	Nova Bassano
02/02/2009	Vendavais ou tempestades	Fontoura Xavier/ Barros Cassal
25/02/2009	Vendavais ou tempestades	Progresso
15/04/2009	Vendavais ou tempestades	Ciríaco
16/04/2009	Vendavais ou tempestades	Ibiraiaras
20/04/2009	Vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais	Putinga
29/04/2009	Inundações	Santo Antônio do Palma/ Fontoura Xavier/ Itapuca
30/04/2009	Inundações	Nova Alvorada/ Santo Antônio do Palma
04/05/2009	Inundações	Muitos Capões
05/05/2009	Inundações	Gentil/ São Jorge

06/05/2009	Enxurradas	Barros Cassal/ Camargo
08/05/2009	Enxurradas	Cruzeiro do Sul/ Santa Cruz do Sul/ Progresso
10/05/2009	Enxurradas	Vacaria/ São Jorge
11/05/2009	Enxurradas	São Francisco de Paula
12/05/2009	Enxurradas	Monte Alegre dos Campos
25/05/2009	Enxurradas	Venâncio Aires
29/05/2009	Enxurradas	General Câmara
03/09/2009	Enxurradas	Paverama
07/09/2009	Enxurradas	Casca
08/09/2009	Enxurradas	Fontoura Xavier
12/09/2009	Enxurradas	Santa Tereza
13/09/2009	Enxurradas	Venâncio Aires/ Estrela/ Taquari
14/09/2009	Enxurradas	Cruzeiro do Sul
26/09/2009	Enxurradas	Triunfo/ Venâncio Aires
27/09/2009	Enxurradas	Santa Cruz do Sul
03/01/2010	Enxurradas	Garibaldi/ Fontoura Xavier/ São Valentim do Sul
04/01/2010	Enxurradas	Anta Gorda/ Barros Cassal/ Bento Gonçalves/ Cruzeiro do Sul/ Encantado/ Guaporé/ Ilópolis/ Nova Alvorada/ Pouso Novo/ Progresso/ Putinga/ Relvado/ Santa Tereza/ Serafina Corrêa/ Sério/ Soledade/ Venâncio Aires
05/01/2010	Vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais	Campestre da Serra/ Santa Cruz do Sul/ Casca
13/01/2010	Enxurradas	Fontoura Xavier
17/01/2010	Enxurradas	Ciríaco
27/01/2010	Vendavais ou tempestades	Ilópolis

02/03/2010	Enxurradas	Ibiraiaras
12/03/2010	Inundações	Estrela
26/03/2010	Enxurradas	São José dos Ausentes
05/04/2010	Enxurradas	Fontoura Xavier
09/07/2010	Enxurradas	Santa Tereza
12/07/2010	Vendavais ou tempestades	Cruzeiro do Sul
09/11/2010	Vendavais ou tempestades	Soledade
14/02/2011	Enxurradas	Bom Jesus/ São José dos Ausentes
10/03/2011	Enxurradas	São Francisco de Paula
26/03/2011	Enxurradas	Gentil
14/04/2011	Enxurradas	Sério
Data	Registro	Município
22/04/2011	Enxurradas	Santa Cruz do Sul
23/04/2011	Enxurradas	Taquari
20/07/2011	Enxurradas	Anta Gorda
21/07/2011	Inundações	Santa Tereza/ Putinga/ Estrela/ Nova Alvorada/ Nova Bassano
22/07/2011	Inundações	Taquari
02/08/2011	Enxurradas	Fontoura Xavier/ Soledade
29/08/2011	Enxurradas	Casca/ São Jorge
07/02/2012	Enxurradas	Caxias do Sul
13/03/2012	Vendavais ou tempestades	Soledade
01/01/2013	Vendavais ou tempestades	Soledade
18/02/2013	Enxurradas	Soledade
29/05/2013	Enxurradas	Soledade



23/08/2013	Enxurradas	Fontoura Xavier
24/08/2013	Inundações	Estrela
25/08/2013	Alagamentos	Roca Sales
25/08/2013	Inundações	Venâncio Aires/ Taquari/ Santa Tereza
26/08/2013	Enxurradas	Soledade
24/10/2013	Enxurradas	Triunfo
10/11/2013	Enxurradas	Anta Gorda
11/11/2013	Enxurradas	Triunfo/ Estrela
11/11/2013	Inundações	Venâncio Aires
15/11/2013	Vendavais ou tempestades	Vale Verde/ Estrela
21/11/2013	Enxurradas	Triunfo
05/12/2013	Vendavais ou tempestades	Flores da Cunha
30/12/2013	Vendavais ou tempestades	Taquari

A partir da seleção dos eventos extremos registrados pela Defesa Civil no Rio Grande do Sul nos anos de 2008 a 2013, foram analisadas as condições atmosféricas anteriores, posteriores e no momento dos desastres catalogados, a partir de cartas sinóticas e imagens de satélite.

Todos 56 registros de eventos extremos ocorridos na região foram causas por tempestades severas, pela formação de grandes nuvens cumulonimbus ou outros tipos de tempestades multicelulares como os Complexos Convectivos de mesoescala (CCM's).

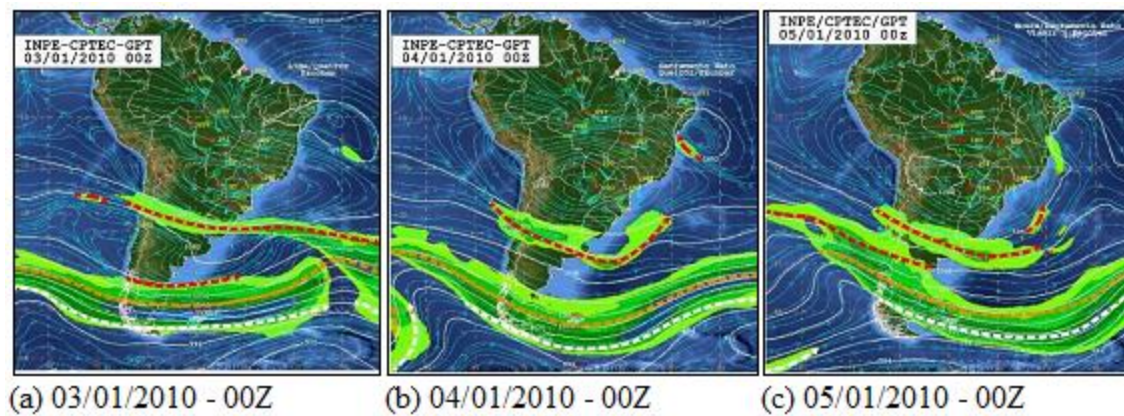
Também observamos em eventuais entradas de frentes frias sobre o Estado, a formação de tempestades multicelulares conceituadas como um aglomerado de células convectivas simples de vida curta. Os fluxos de ar frio, devido à evaporação da chuva proveniente dessas células, combinam-se para formar uma grande frente de rajada no sentido sul-norte ocasionando áreas de convergência ao longo do percurso, sendo geralmente mais forte na direção do movimento da tempestade. Este tipo de mecanismo termodinâmico atuou como gatilho de convergência que desenvolveu em muitos casos, novas correntes de ar ascendente, junto e, justamente, atrás da frente, promovendo o desenvolvimento de novas células convectivas simples.

A seguir são apresentados dois estudos de caso realizados pela equipe do LMQA sobre eventos ocorridos na BHTA no período analisado.

**Estudo de caso: Análise de evento extremo ocorrido entre os dias 03 e 05 de janeiro de 2010, na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**

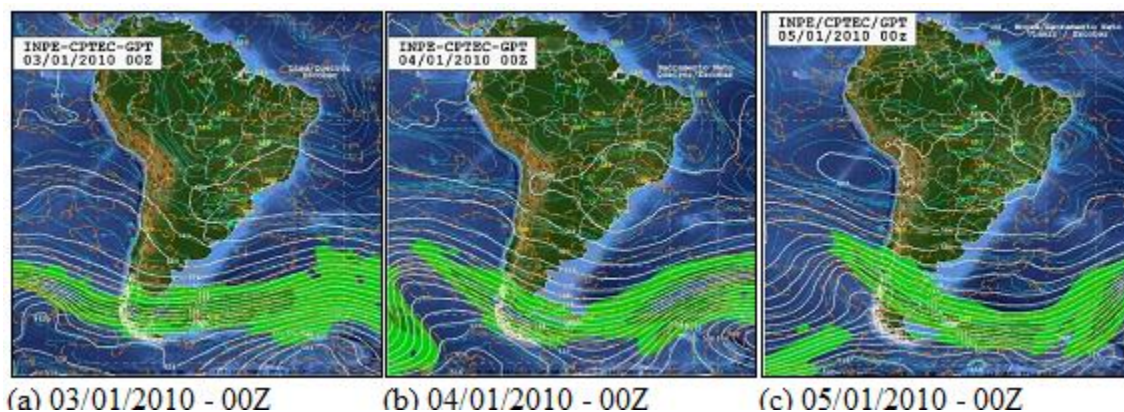
Analisando as cartas sinóticas de altitude (250 hPa) na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, percebe-se o padrão tipicamente de verão estabelecido sobre a América do Sul, onde podemos perceber a circulação anticiclônica associada à Alta da Bolívia (AB) predominando sobre grande parte do Continente Sul-americano. Seu fluxo atua em grande parte das regiões Sudeste, sul do Centro-Oeste e norte da região Sul. Um longo cavado é observado entre o Pacífico e o Atlântico, cortando o continente entre os paralelos 30° e 40°S. Um ramo do Jato Subtropical (JST) corta o continente ao longo do paralelo 32°S, aproximadamente, e prolonga-se pelo Atlântico onde contorna um cavado. Os Jatos Polar Norte (JPN) e Polar Sul (JPS) encontram-se acoplados a sul de 40° Sul com circulação anticiclônica sobre o continente, contornando o cavado sobre o Atlântico dão suporte a um sistema frontal em superfície.

**Figura 16 - Cartas sinóticas de altos níveis (250 hPa).**



Fonte: GPT/CPTEC/INPE.

Nas cartas de nível médio (Figura 17 - Cartas sinóticas de níveis médios (500 hPa)).

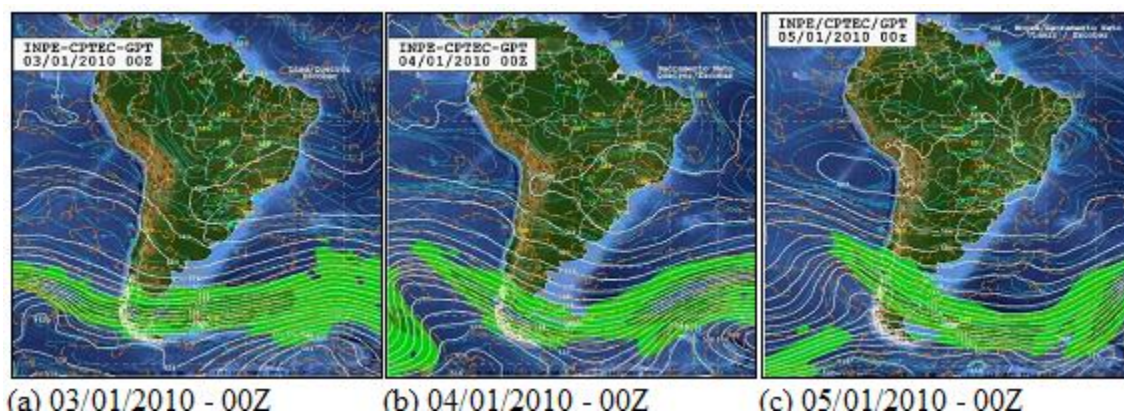


Fonte: GPT/CPTEC/INPE.

), nota-se um fluxo anticiclônico sobre o centro-sul do Brasil. Este sistema provoca subsidência que força a coluna de ar para baixo, num movimento vertical descendente, dificultando a formação e o desenvolvimento de nuvens sob a sua área de atuação. Este movimento subsidente causa compressão adiabática que aquece ainda mais o ar, o que mantém as temperaturas próximas à superfície mais elevadas.

O cavado visto em altitude entre o Pacífico e o Atlântico também é visto neste nível e está associado a uma frente fria em superfície. Este sistema, em seu deslocamento, tende a intensificar a convecção entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A sul da latitude de 30°S, vê-se uma área com forte gradiente de altura geopotencial e de temperatura, indicando uma atmosfera fortemente baroclínica (Baroclinia é um estado do escoamento de um fluido em que as linhas isóbaras (de igual pressão) e isotermas (igual temperatura) não coincidem). Notam-se fortes ventos atuando sobre o oceano Atlântico, ventos estes que refletem a presença dos máximos de vento em altitude, principalmente o Jato Polar Norte e o Jato Polar Sul.

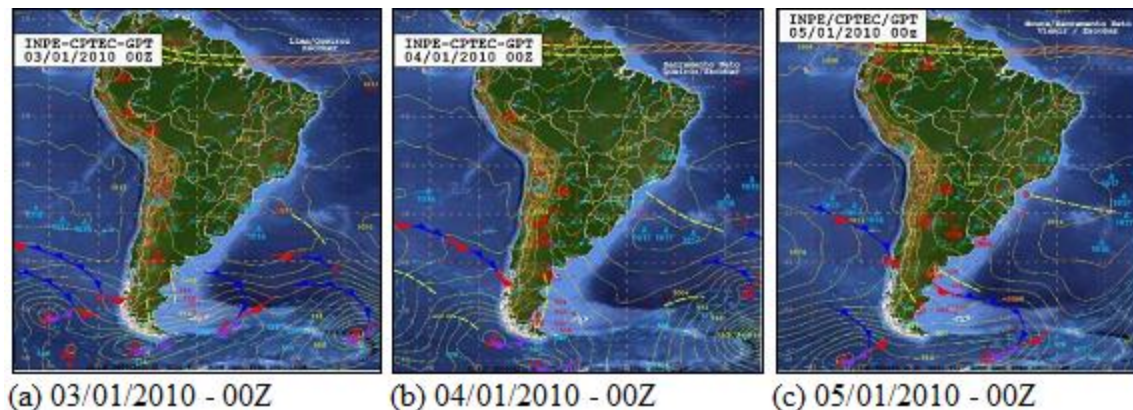
**Figura 17 - Cartas sinóticas de níveis médios (500 hPa).**



Fonte: GPT/CPTEC/INPE.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** temos as cartas de superfície (1.000 hPa), nelas observamos a persistência de um centro de baixa pressão (1.012 hPa) e um amplo padrão de circulação anticiclônica atuando entre o Atlântico e, praticamente, toda a faixa leste do Brasil, desde o Piauí ao leste do Rio Grande do Sul. Um cavado invertido, embebido nesta circulação anticiclônica. Notam-se, sobre o norte e oeste da Argentina, áreas de baixa pressão. A circulação associada a estes sistemas reforçam a advecção de umidade e massa da Amazônia para o Paraguai, norte e nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil. Por fim, a sul da latitude de 30°S, vemos a presença de um sistema frontal e de cavados indicando uma área com forte baroclinia.

**Figura 18 - Cartas sinóticas de superfície (1.000 hPa).**



Fonte: GPT/CPTEC/INPE.

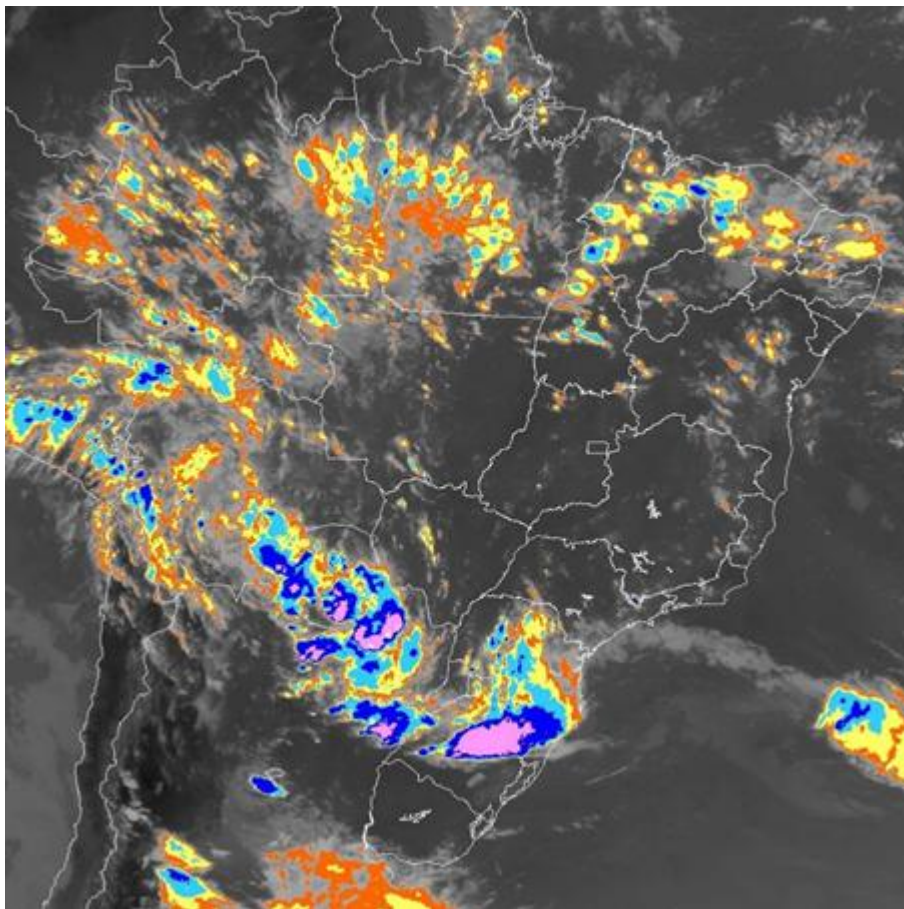
### Conclusão:

Na parte central do Brasil a atuação de um anticiclone na troposfera média atuou como uma “tampa”, inibindo o desenvolvimento de nuvens, deixando a atmosfera quente e com pouca chance de instabilidade entre o Sudeste e parte do Centro-Oeste brasileiro. Esse anticiclone auxiliou no fortalecimento de uma área de baixa pressão em superfície, reforçando ventos de norte na baixa troposfera e a advecção de uma massa de ar mais quente e úmida da Amazônia para o sul do Brasil, deixando a atmosfera sobre esta Região bastante instável.

Esta instabilidade foi reforçada pela atuação de cavados de ondas curtas (áreas de baixa pressão), que atuavam na média e alta troposfera sobre o Rio Grande do Sul, intensificando o levantamento do ar e ocasionando assim a formação de Sistemas Convectivos de Mesoescala que provocaram chuvas intensas

e localizadas em quase todo Estado. Podemos ver um desses sistemas na imagem de satélite GOES-12 na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Figura 19 - Imagem do satélite GOES -12 do dia 03/01/2010 as 21:30Z. Fonte: DSA/CPTEC/INPE.**



A massa úmida e instável permaneceu atuando nos dias 03, 04 e 05 e combinou-se a uma frente fria que atingiu o estado gaúcho mantendo a forte instabilidade sobre esta Região. Este sistema frontal teve deslocamento zonal de leste indo em direção ao Atlântico.

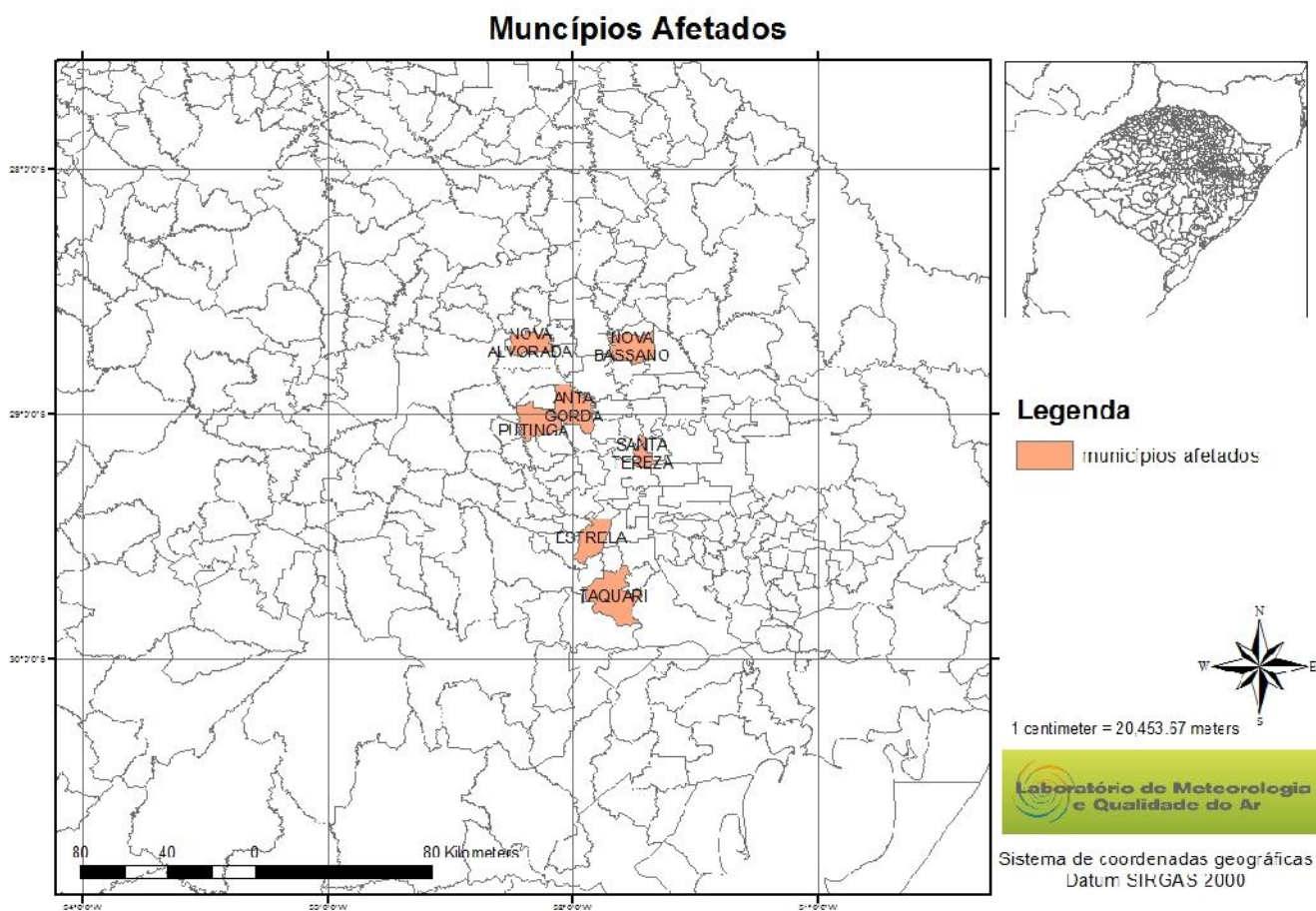
Estudos desta categoria podem fornecer informações valiosas aos meteorologistas operacionais. Além disso, também, auxiliam no entendimento sobre chuvas que ocorrem nas cabeceiras de drenagem, as quais têm grande influência na determinação das cheias. Estas, por sua vez, são intensificadas pelas condições estruturais do relevo, que favorecem o escoamento das águas nas áreas a montante da bacia hidrográfica, e intensificam a ocorrência de inundações nas porções de vale.

**Estudo de caso: Análise de sistemas meteorológicos associados a precipitações intensas na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**

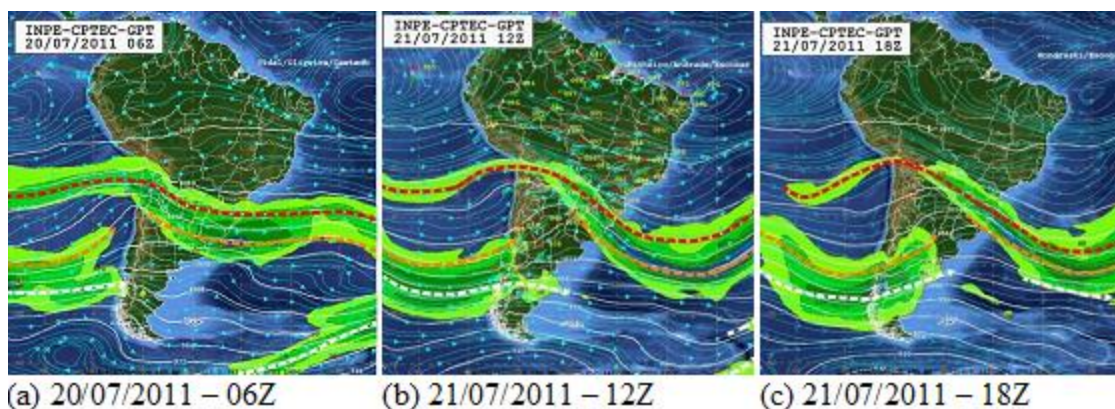
Após realizar análise das condições meteorológicas atuantes nas datas dos 123 registros da Defesa Civil, foi realizada a análise de caso do evento que ocorreu nos dias 20 e 21 de julho de 2011, pois nesta data houve a união de vários fatores que geram precipitação intensa na região. A combinação da entrada de uma massa de ar frio, circulação da corrente de jato de baixos níveis sobre a fronteira oeste do Brasil, transportando calor e umidade do norte do país em direção ao noroeste do Rio Grande do Sul, junto à circulação em altos níveis, formaram o cenário perfeito para um grande evento de precipitação pluvial abundante de pouco tempo sobre o centro-norte do Estado. E segundo a Defesa Civil do Rio Grande do Sul, os municípios que decretaram situação de emergência em decorrência de inundações e enxurradas foram: Anta Gorda, Santa Tereza, Putinga, Estrela, Nova Alvorada, Nova Bassano e Taquari (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Por se tratar da estação de inverno no hemisfério Sul observa-se nas cartas de altos níveis (250 hPa) em todos os dias da análise o Jato Subtropical (JST) acoplado ao ramo norte do Jato Polar (RNJP) sobre o sul do Brasil e no oceano Atlântico. Estes sistemas favorecem o sistema frontal em superfície. A partir das 06Z do dia 20/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**) nota-se o aprofundamento de um cavado a oeste do continente sul americano na costa com oceano Pacífico (desde a Província de Buenos Aires até o norte da Argentina). O Jato Subtropical contorna a borda norte deste cavado e se estende desde o Pacífico até o Atlântico, onde adquire circulação anticiclônica. O que intensifica uma crista (anticiclone) sobre o Rio Grande do Sul. A presença de uma crista (anticiclone) em altos níveis promove intensificação da convecção em superfície, proporcionando o desenvolvimento de nuvens com grande extensão vertical. Essa configuração permanece ativa por um período em torno de 30 horas até às 12Z do dia 21/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**). Às 18Z do dia 21/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.c**) ocorre a passagem do cavado sobre o Rio Grande do Sul e segue em direção ao oceano Atlântico junto com as correntes de Jato Acopladas (JST e JPN), indicando a movimentação da frente fria em superfície.

**Figura 20 - Municípios do Rio Grande do Sul que decretaram situação de emergência em decorrência de inundações e enxurradas em 20, 21 e 22 de julho de 2011.**



**Figura 21 - Cartas sinóticas de altitude (250 hPa).**

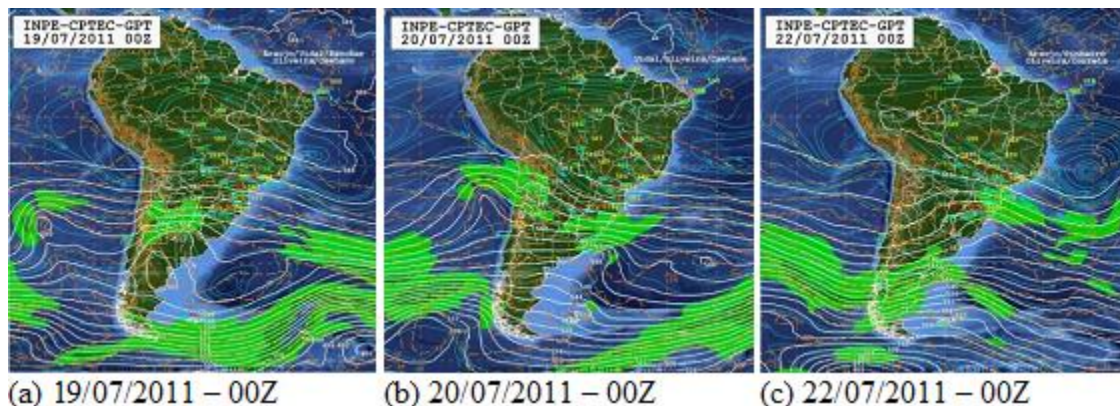


Fonte: GPT/CPTEC.

Na análise da carta sinótica de nível médio (500 hPa) do dia 19/07/2011 às 00Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**a), ao sul de 20°S (do centro-sul do Mato Grosso do Sul e norte de São Paulo), no continente, nota-se a presença de gradiente de altura geopotencial e fortes ventos associados

ao cavado que já cruzou os Andes. Este padrão é indicativo de que a área encontra-se baroclínica, assim, a temperatura varia sobre superfícies isobáricas e a pressão sobre superfícies isotérmicas. Também ao sul de 30°S no oceano Atlântico, ainda se nota uma área baroclínica que favorece o sistema frontal em superfície, assim como os jatos em altitude. Na carta sinótica do dia 20/07/2011 às 00Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**b) observa-se a presença de uma anticiclone com núcleo centrado no oceano Atlântico (-20°S; -30°W), ao leste do sul da Bahia. Este sistema estende sua circulação até a extremidade noroeste do Brasil na fronteira com o Peru. Essa circulação, primeiramente, auxilia no aprofundamento da crista (anticiclone) em altos níveis (250 hPa) sobre o Rio Grande do Sul. Também inibe a formação de nebulosidade significativa em níveis médios da atmosfera sobre o centro do País, aquecendo a camada atmosférica deixando a umidade relativa do ar baixa sobre grande parte do Centro-Oeste, sul da região amazônica e em parte das Regiões Sudeste e Nordeste e acarretando na circulação do Jato de Baixos Níveis no oeste do Brasil, transportando calor e umidade do norte e centro do Brasil em direção ao noroeste do Rio Grande do Sul. Ao sul de 20°S no continente nota-se a presença de gradiente de altura geopotencial e fortes ventos associado a um cavado sobre o Pacífico, próximo a costa do Chile. No oceano Atlântico, ao sul de 30°S ainda se nota uma área baroclínica que ainda favorece o sistema frontal em superfície, assim como os jatos em altitude. Nota-se o cavado também desde o sul da Província de Buenos Aires até a divisa com a Bolívia. Na borda leste deste sistema nota-se ventos mais intensos, associado à presença do jato em altitude. Ao sul da latitude de 25°S nota-se a presença de gradiente de altura geopotencial e fortes ventos, principalmente sobre o Rio Grande do Sul, Uruguai e sobre o Pacífico (entre 40° e 50°S). Essa configuração permanece atuando até o dia 22/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**c), quando o anticiclone sobre o Atlântico segue o movimento da Crista que estava sobre o Rio Grande do Sul e se moveu para leste sobre o oceano.

**Figura 22 - Cartas sinóticas de níveis médios (500 hPa).**

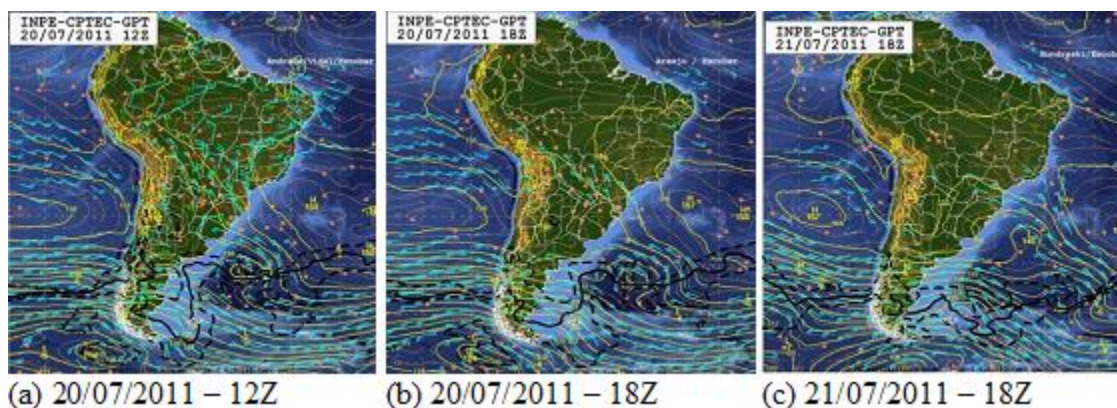




Fonte: GPT/CPTEC.

Nas cartas de níveis baixos (850 hPa) do dia 20/07/2011 das 12Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**) e 18Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**) observamos a presença de isolinhas de temperatura no valor de zero grau ao sul da latitude de 30°S, indicando a entrada de uma massa de ar frio no sul da América do Sul (AMS). No Centro-Oeste do Brasil observamos que o escoamento encontra-se desorganizado, devido ao processo de formação de uma nova onda frontal (associada a uma frente fria em superfície) com centro de baixa pressão em 38°S/55°W. Esse centro de baixa pressão mais conhecido como ciclone extratropical recebe suporte termodinâmico de calor e umidade da corrente de Jato de Baixos Níveis (JBN) configurada circulando desde Rondônia e oeste de Mato Grosso até o noroeste do Rio Grande do Sul. Essa configuração atua até o dia 21/07/2011 às 18Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.c**) quando esse ciclone se desloca para leste adentrando o oceano Atlântico.

**Figura 23 - Cartas sinóticas de níveis baixos (850 hPa).**

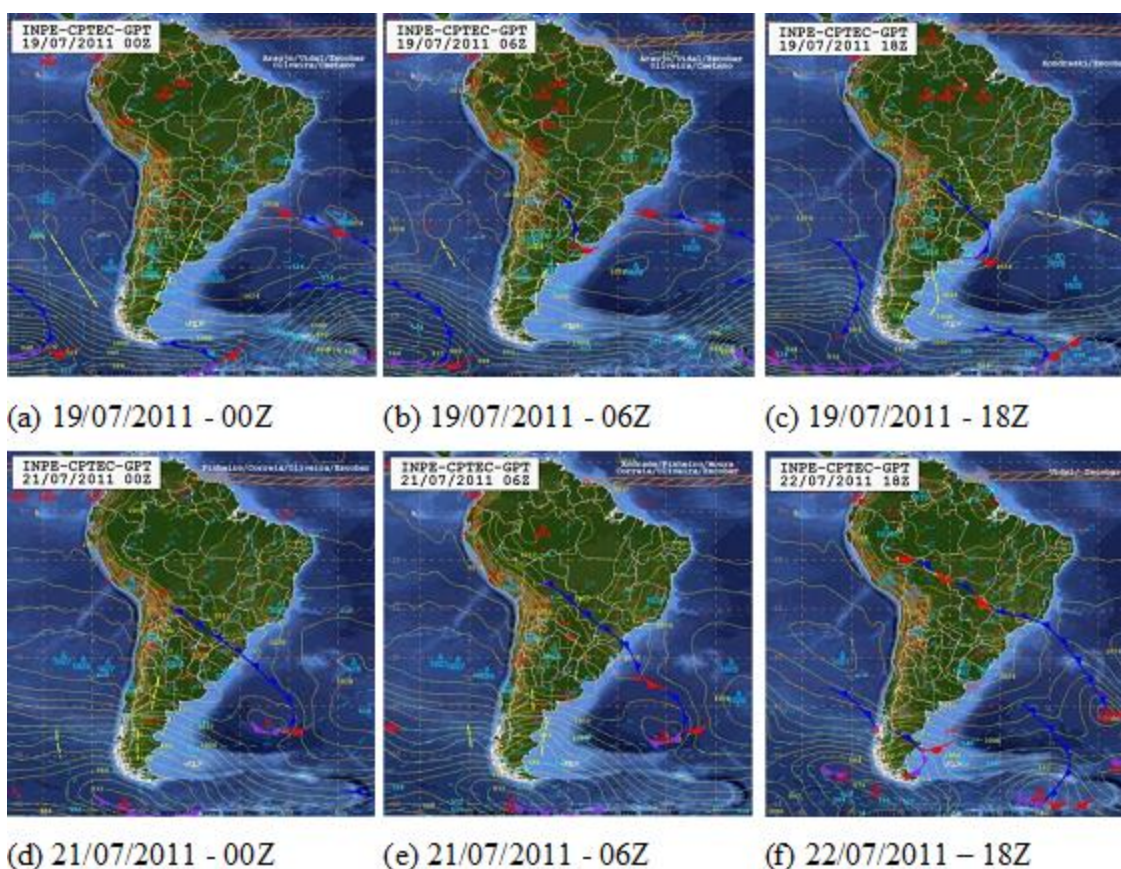


Fonte: GPT/CPTEC.

Observando as cartas de superfície (1.000 hPa) vemos que a partir do dia 19/07/2011 às 00Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**) começa a se intensificar um cavado (área de baixa pressão) sobre a Argentina. Na carta das 06Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**) esse sistema já se mostra configurado como um ciclone extratropical com centro de baixa pressão na fronteira sudoeste do Uruguai com a Argentina 35°S/59°W. O ramo frontal frio preso ao ciclone extratropical se desloca para leste, vai desde o sul do Uruguai até o norte do Paraguai. Na carta das 18Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.c**) deste mesmo dia, podemos observar a leste do ramo frontal e se estendendo até o Paraguai, um cavado intensificando-se sobre o Mato Grosso do Sul e sudoeste do Paraná e Santa Catarina, por causa da circulação em níveis baixos (850 hPa) e médios do JBN. Essa frente fria desloca-se lentamente para leste junto ao ciclone extratropical que atua na costa ao sul do Rio Grande do Sul até o

dia 21/07/2011 às 00Z (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**d). Essa configuração só termina às 06Z do dia 21/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**e) quando o ciclone extratropical já se encontra bem afastado da costa da AMS. Mas para se compreender a intensidade da massa de ar frio, destacamos que a frente fria chega até a fronteira do Mato Grosso com a Bolívia e segue para o centro do Brasil onde se torna estacionária e atua até às 18Z do dia 22/07/2011 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**f). Isto ocasiona o fenômeno de friagem em Rondônia e centro-sul do Mato Grosso.

**Figura 24 - Cartas sinóticas de superfície (1.000 hPa).**

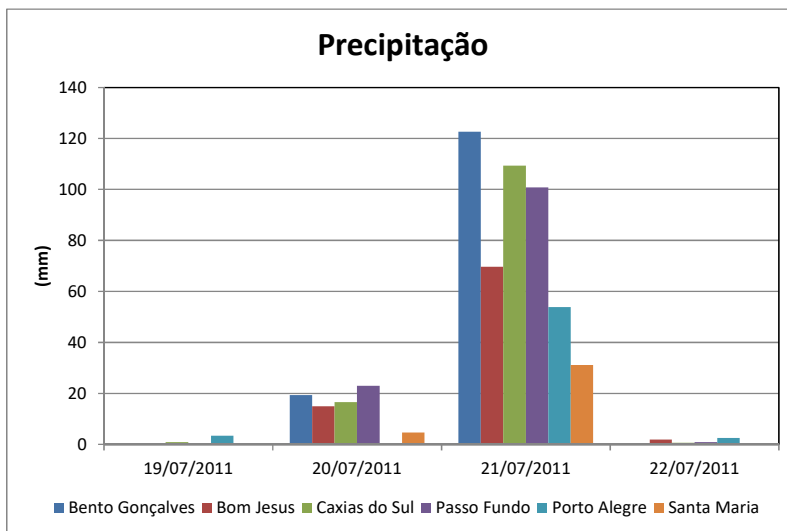


Fonte: GPT/CPTEC.

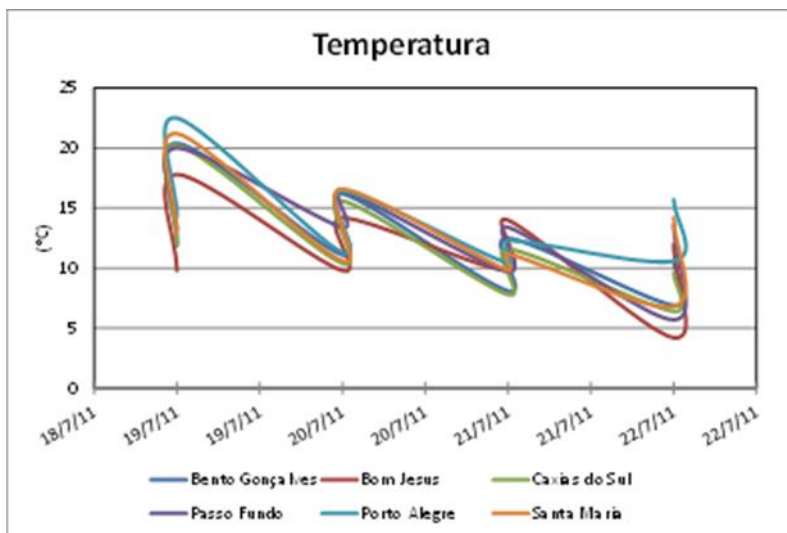
Nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** se observa a evolução temporal de precipitação pluvial e temperatura do ar, respectivamente, registradas nas estações meteorológicas do Vale do Taquari. A precipitação pluvial iniciou na noite do dia 20 de julho e teve fim no dia 21 de julho. A título de exemplo, a normal climatológica do INMET (1961-1990) de precipitação pluvial no município de Bento Gonçalves é de 140 mm. E, apenas na madrugada do dia

20 para o dia 21, o total precipitado registrado foi de 142,4 mm. Também observamos uma redução de quase 20° de temperatura do ar com a entrada da massa de ar frio.

**Figura 25 - Evolução temporal de precipitação pluvial registrada nas estações meteorológicas do INMET de 19 a 22 de julho de 2011.**



**Figura 26 - Evolução temporal de temperatura do ar registrada nas estações meteorológicas do INMET de 19 a 22 de julho de 2011.**



Na maior parte da BHTA a precipitação pluvial anual tem valores maiores que 1.600 mm, com exceção da região leste, a região mais baixa e uma pequena parte da região norte (onde se localiza a região de Vacaria), a bacia tem totais anuais acima de 2.000 mm. A maioria das catástrofes como inundações, ocorre durante o verão (mês de janeiro), especialmente durante os anos sob a influência de El Niño. Os principais fatores para ocorrência de grandes acumulados de chuva em poucas horas são em função da entrada de massas de ar frio, combinada, principalmente, com intensa circulação da corrente de Jato de

Baixos Níveis sobre a fronteira oeste do Brasil transportando calor e umidade do norte do país em direção ao noroeste do Rio Grande do Sul.

A elevação do nível dos rios pertencentes à bacia, aliada as características dinâmicas destes rios, são os principais responsáveis pelas inundações nos municípios banhados pelos rios. E a elevação do nível dos rios está diretamente relacionada com as intensas precipitações que ocorrem sobre a bacia, com grandes volumes em pouco tempo. Estes eventos ainda podem ser agravados por outros fenômenos associados também a tempestades como ventos fortes, granizo, entre outros.

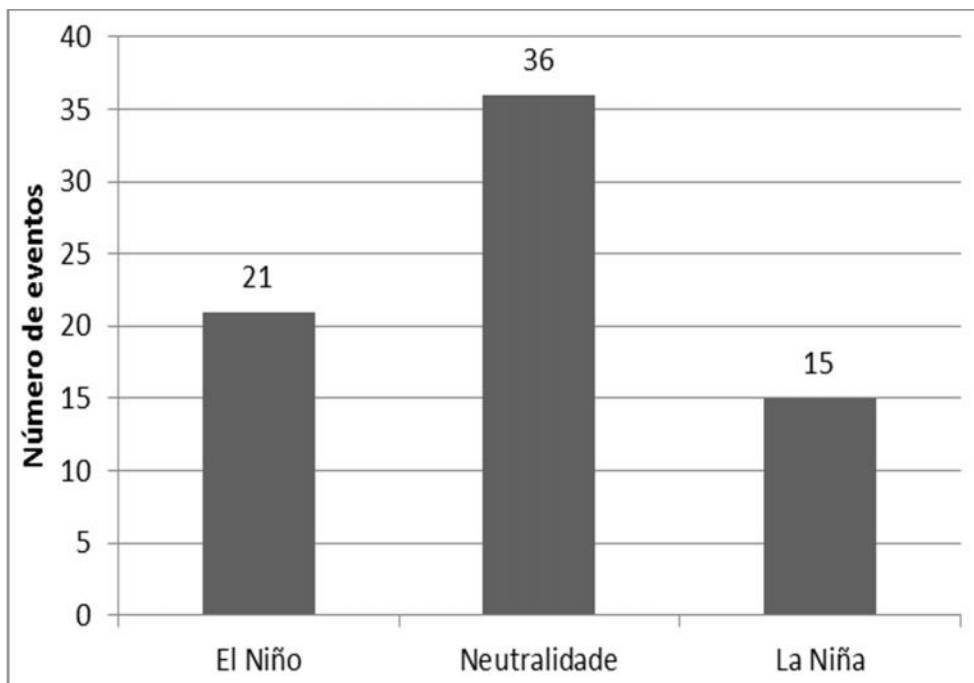
#### 4.1.4. Relação ENOS x Eventos extremos

A influência da circulação em grande escala ocorre em várias partes do Globo e caracteriza-se pelo resfriamento/aquecimento anormal da temperatura da superfície do oceano Pacífico Equatorial interferindo na mudança do padrão dos ventos em escala global. Essa mudança no comportamento do vento ocasiona em um aumento significativo na precipitação no sul do Brasil. A intensificação dos jatos subtropicais proporcionam um fortalecimento dos sistemas frontais e áreas de instabilidades atuantes na região, e são estes fatores que influenciam a maior quantidade de precipitação ocasionada pelo fenômeno (BARBIERI *et al.*, 2008).

As anomalias de precipitação associadas com eventos de El Niño e La Niña podem ser causadas por mudanças na disponibilidade de vapor de água, na dinâmica, levando a movimentos verticais e na estabilidade vertical do ar ou devido à combinação dos dois fatores. Em geral as anomalias úmidas (secas) resultam do fortalecimento (enfraquecimento) das características climáticas existentes que favorecem (desfavorecem) a precipitação durante uma determinada estação (GRIMM *et al.*, 2000).

Dos 53 anos analisados (1961 – 2013) ocorreram 71 eventos ENOS, com 21 casos de EN, 36 anos neutros e 15 eventos de LN. Desta forma pode-se observar que houve predominância de anos neutros no período analisado, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A partir da magnitude de cada evento, exceto os anos neutros, pode-se constatar que durante o período de estudo houve 9 eventos de EN de fase forte, 7 de moderada e 5 de fraca. Por sua vez, ocorreram 8 eventos de LN de fase forte, 4 de moderada e 3 de fracas.

**Figura 27 - Número de eventos ENOS ocorridos durante ao período de estudo.**



Do total de anos com casos de inundações foi estabelecido utilizar somente os anos em que ocorreram as inundações “grandes” e “extremas”. Estas características foram estabelecidas através do seguinte limiar: inundações com cota acima de 25,01 metros foram consideradas como grandes, já os casos em que o valor da cota ultrapassou 28 metros foram consideradas extremas. A referência de cota foi à régua do município de Estrela que é de 13 metros. Desta forma a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra os casos escolhidos para o estudo. Do total de casos de inundações ocorridos entre o ano 1961 a 2013 (50 casos), foram considerados 18 segundo as características recém descritas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a data do evento, a cota em que o rio alcançou em cada um dos eventos, o quanto o nível do rio elevou-se e a magnitude da inundação. Pela Tabela pode-se perceber que a maior parte dos eventos foi caracterizada como de magnitude grande, havendo somente dois casos (dos 18 casos) considerados extremos.

**Tabela 4 - Casos de eventos de inundações ocorridos na Bacia Hidrográfica Taquari – Antas.**

EVENTO	COTA	ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO RIO (NR)	MAGNITUDE DA INUNDAÇÃO
22/08/1965	25,90	12,90	Grande
21/09/1967	25,60	12,60	Grande

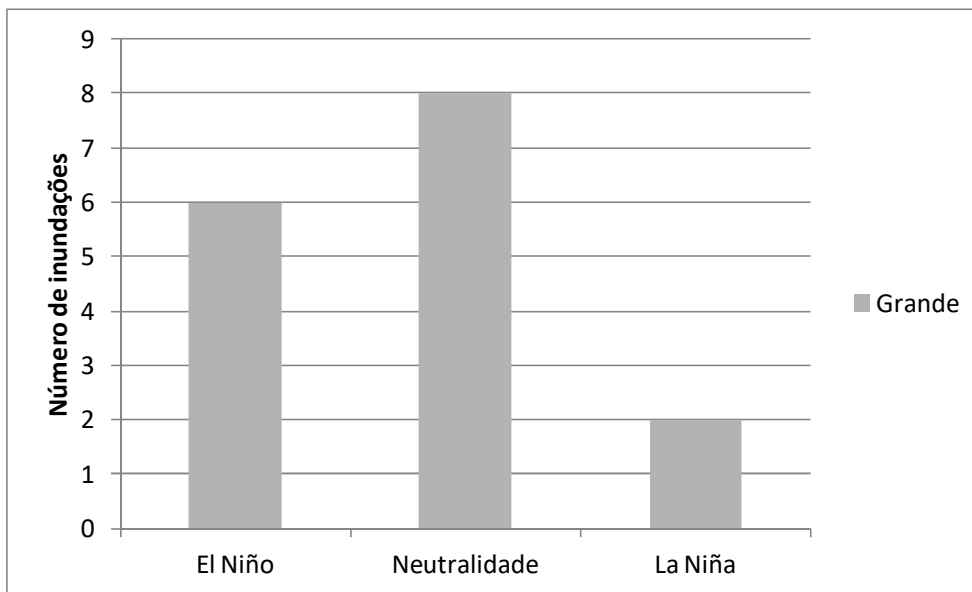
EVENTO	COTA	ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO RIO (NR)	MAGNITUDE DA INUNDAÇÃO
13/09/1986	25,20	12,20	Grande
25/09/1989	25,90	12,90	Grande
02/06/1990	26,64	13,64	Grande
25/05/1992	25,35	12,35	Grande
05/08/1997	25,60	12,60	Grande
22/07/2001	26,30	13,30	Grande
03/10/2001	26,95	13,95	Grande
24/09/2007	26,25	13,25	Grande
27/10/2008	26,65	13,65	Grande
27/07/2011	26,85	13,87	Grande

Ponderando a magnitude da inundação foram observados 12 casos grandes e nenhum extremo. Pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar a relação entre os casos de inundações com magnitude grande e os eventos ENOS. Nesta Figura, observa-se que durante anos de EN ocorreram 6 inundações. Em anos de LN observa-se, apenas 2 inundações, e em anos neutros, 8 casos.

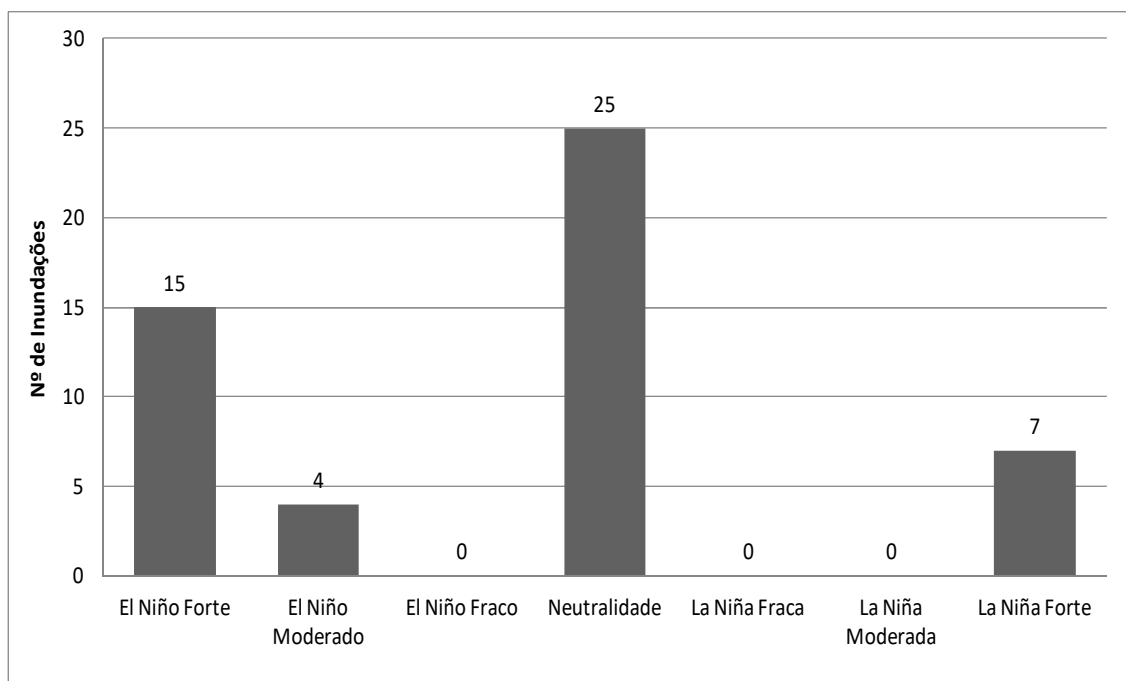
A magnitude dos eventos e das inundações é mostrada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Nesta Figura pode-se perceber que quando ocorrem eventos tanto de EN quanto de LN na fase forte, são observados os maiores casos de inundações, com 15 casos ocorridos durante o EN e 7 na LN. Pelo número de anos considerados neutros ser maior, também são observados mais casos de inundação.

**Figura 28 - Relação entre os casos de inundação de acordo com a magnitude e anos de ENOS.**



**Figura 29 - Magnitude dos eventos ENOS e o número de inundações.**

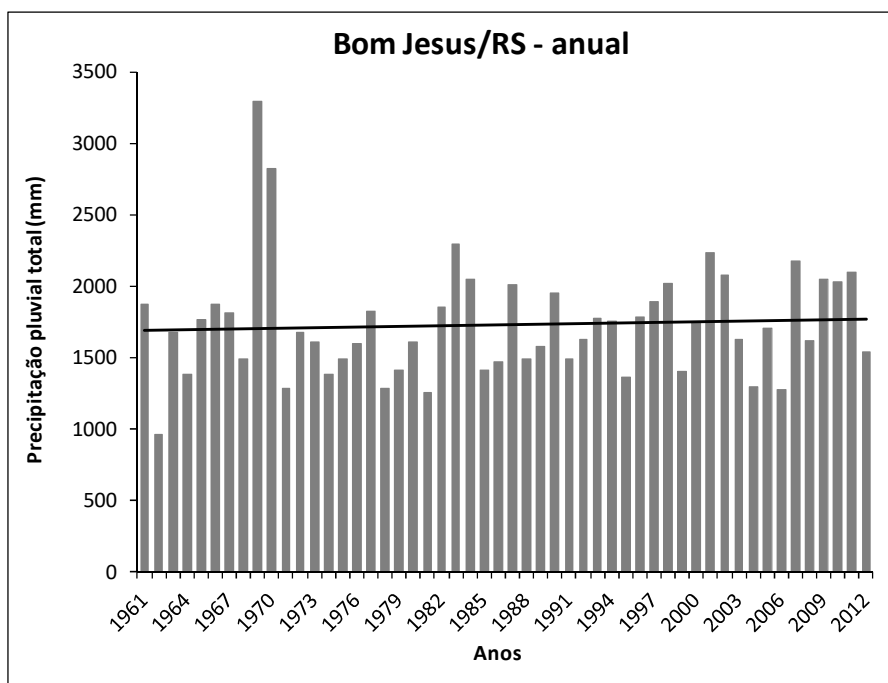


## 4.2. PRODUTO 2.13. ANÁLISE DA CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIA CLIMÁTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

Nesta seção são apresentadas as análises de climatologia e tendências climáticas da precipitação total, anual, sazonal, e média mensal, em milímetros (mm), no período de janeiro de 1961 a dezembro de 2012, totalizando uma série de 52 anos.

A precipitação pluvial total anual de Bom Jesus, média do período de 1961 a 2012, foi de 1.731 mm. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é observado que os anos em que ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial foram 1969, com 3.287 mm, e 1970 com cerca de 2.824 mm. Também compreenderam o percentil 90, os anos de 1983 (2.292 mm), 2001 (2.239 mm) e 2007 (2.172 mm). No total foram 12 anos com precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já a menor precipitação pluvial anual registrada em Bom Jesus foi em 1962 (956 mm). Nos anos de 1981, 2006, 1971, 1978 e 2004 a precipitação pluvial foi entre 1.259 e 1.298 mm.

**Figura 30 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**

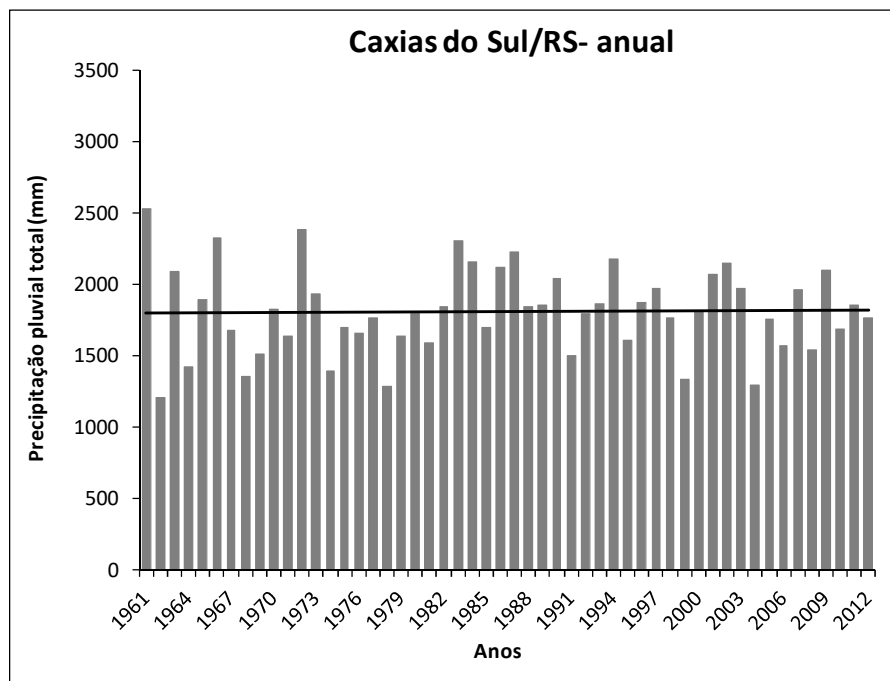


Na estação meteorológica de Caxias do Sul (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) a precipitação pluvial total anual média do período de 1961-2012 foi de 1.809 mm. Os anos com a média no percentil 90 foram: 1961 (2.525 mm), 1972 (2.379 mm), 1966 (2.321 mm), 1983 (2.303 mm) e 1987 (2.228 mm). Ao todo, foram 13 anos com precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já nos anos mais secos



(percentil 10), as precipitações anuais acumuladas foram: 1.210 mm (1962); 1.285 mm (1978); 1.294 mm (2004); 1.335 mm (1999) e 1.353 mm (1968).

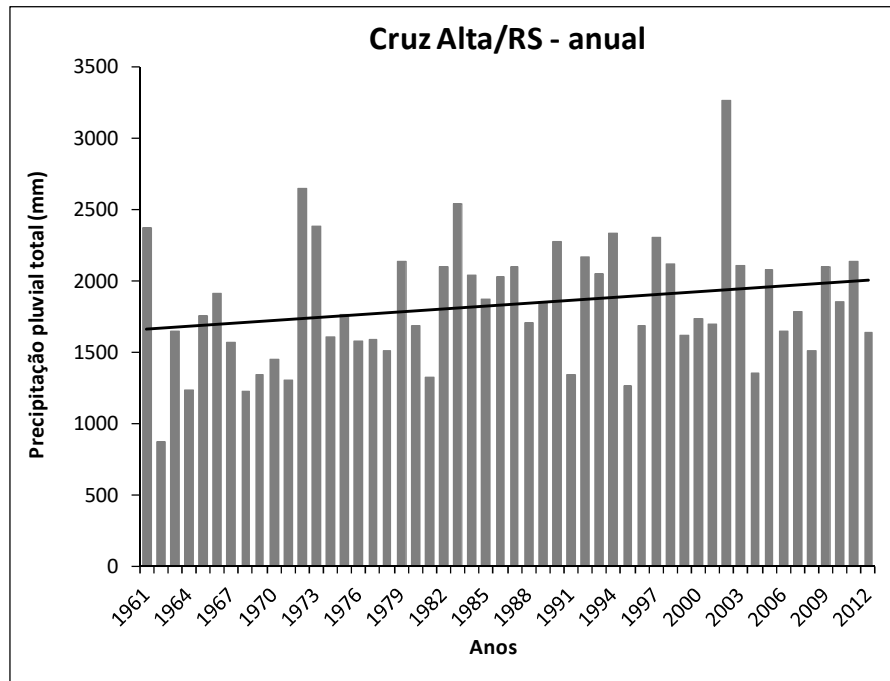
**Figura 31 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



O município de Cruz Alta apresenta pequenas bacias fluviais e pequenos rios permanentes, e se situa exatamente sobre o divisor de águas das bacias dos rios Uruguai e Jacuí. Cruz Alta foi a estação meteorológica que apresentou o maior número de anos com precipitação acumulada acima de 2.000 mm, totalizando 20 anos de precipitações pluviais abundantes (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os anos em que ocorreram os maiores registros de precipitação pluvial em Cruz Alta foram: 2002 (3.264mm); 1972 (2.644 mm); 1983 (2.538 mm); 1973 (2.384 mm) e 1961 (2.375 mm). O total anual médio do período foi de 1.831 mm, portanto, a precipitação pluvial no ano de 2002 foi, em torno de 78% acima da média para Cruz Alta. O ano com o menor valor foi 1962, com somente 874 mm. Seguido pelos anos de 1968, 1964, 1995 e 1971, com 1.225, 1.233, 1.261 e 1.302mm, respectivamente (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

O município de Passo Fundo apresentou a maior média de precipitação pluvial total anual, no valor de 1.853 mm. Passo Fundo foi o segundo o município que apresentou o maior número de anos com precipitação acumulada acima de 2.000 mm, com 19 anos de precipitações pluviais abundantes (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

**Figura 32 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



No percentil 90, os maiores valores em Passo Fundo foram registradas nos anos de 1972 (2.756 mm), 2002 (2.640 mm), 2007 (2.626 mm), 1998 (2.405 mm), 1990 (2.393 mm). As menores precipitações pluviais foram registradas em 1962 (1.175 mm), 1968 (1.205 mm), 1978 (1.244 mm), 1981 (1.284 mm) e 1995 (1.378 mm) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

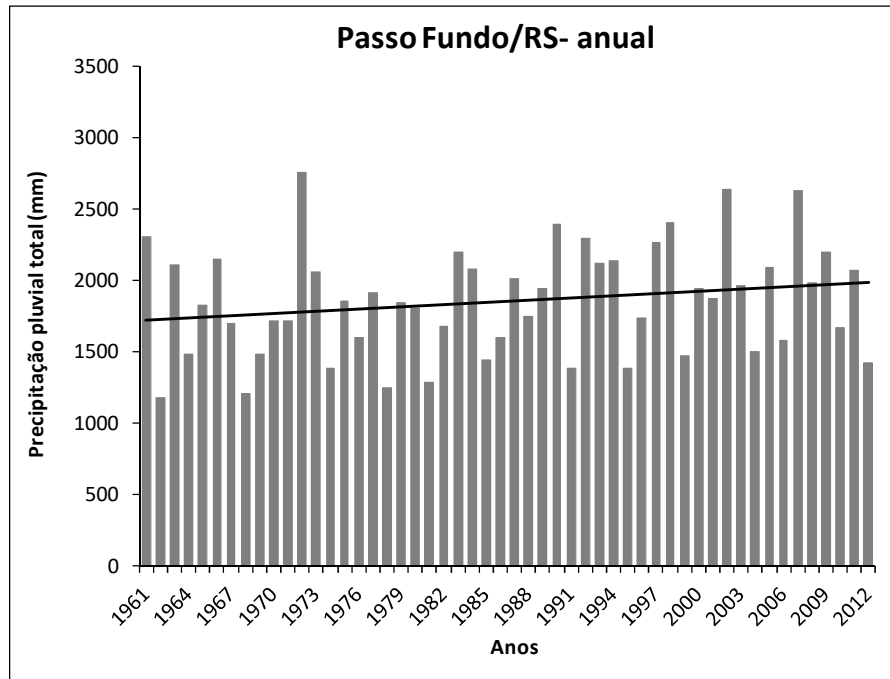
Na capital Porto Alegre a precipitação pluvial total anual foi menor, com média no período (1961 a 2012), em torno de 1.394 mm e nenhum ano da série com total anual maior que 2.000 mm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Os anos de maior registro de precipitação pluvial anual da série foram 1972 com 1.985 mm; 1987 com 1.775 mm; 2009 com 1.720 mm; 2002 com 1.719 mm e 2001 com 1.688 mm. E os anos em que houve as menores precipitações pluviais acumuladas foram: 1962 (711 mm); 1969 (984 mm); 1964 (1.040 mm), 1988 (1.064 mm) e 1978 (1.073 mm) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

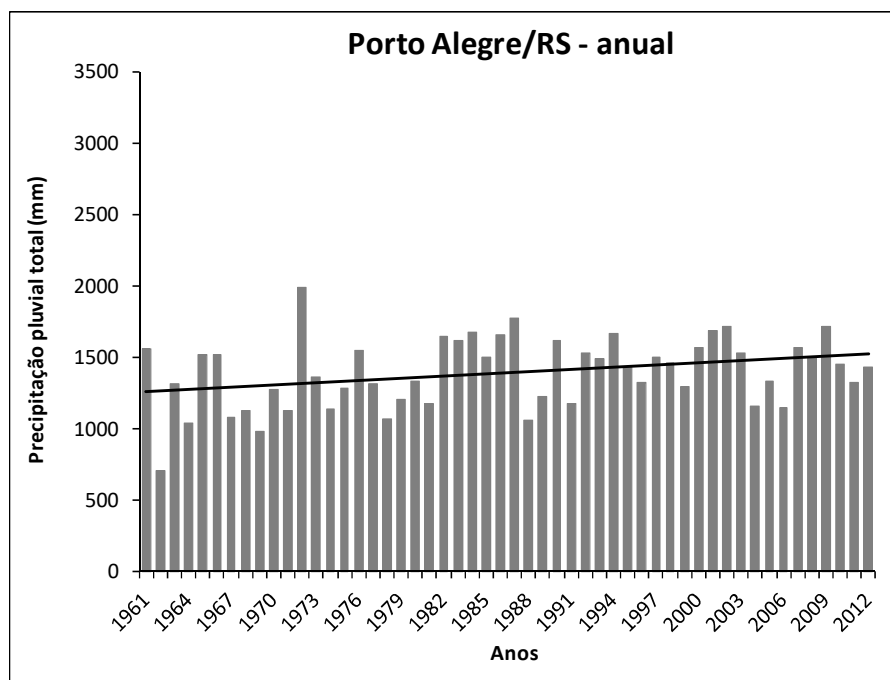
A precipitação pluvial total anual de Santa Maria, média do período de 1961 a 2012, foi de 1.711 mm. O maior volume de precipitação pluvial acumulada em 1 ano em Santa Maria (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) ocorreu em 2002 com 2.692 mm. No percentil 90, também estão os anos de 1984 com 2.486 mm; 1982 com 2.314 mm; 1986 com 2.201 mm e 2003 com 2.177 mm. No total, 14 anos da série analisada apresentaram precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já os menores volumes de

precipitação pluvial anual ocorreram em 1962 (991 mm); 2004 (1.070 mm); 1978 (1.236 mm); 1967 (1.264 mm) e 2011 (1.269 mm).

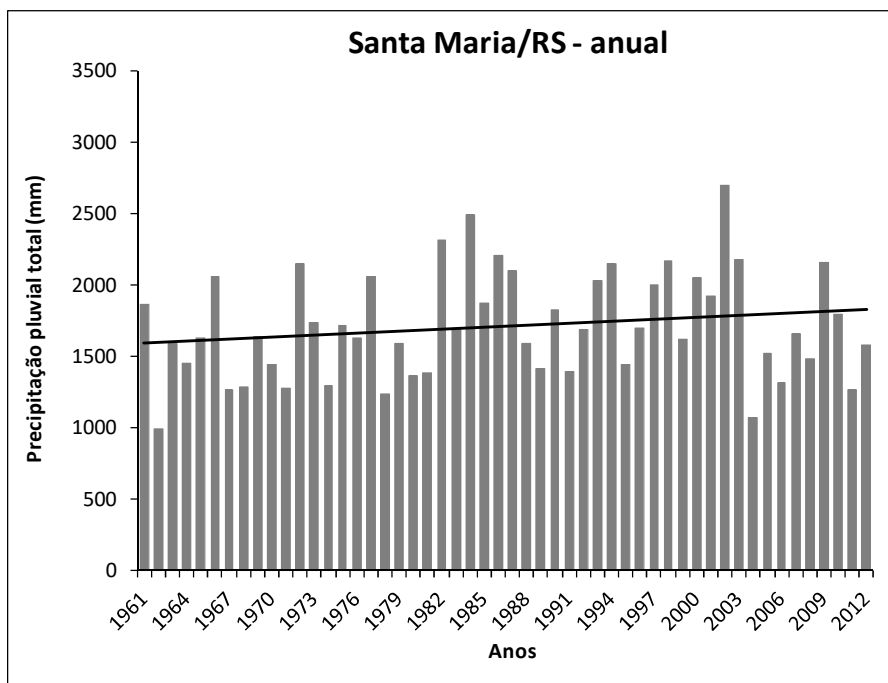
**Figura 33 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 34 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



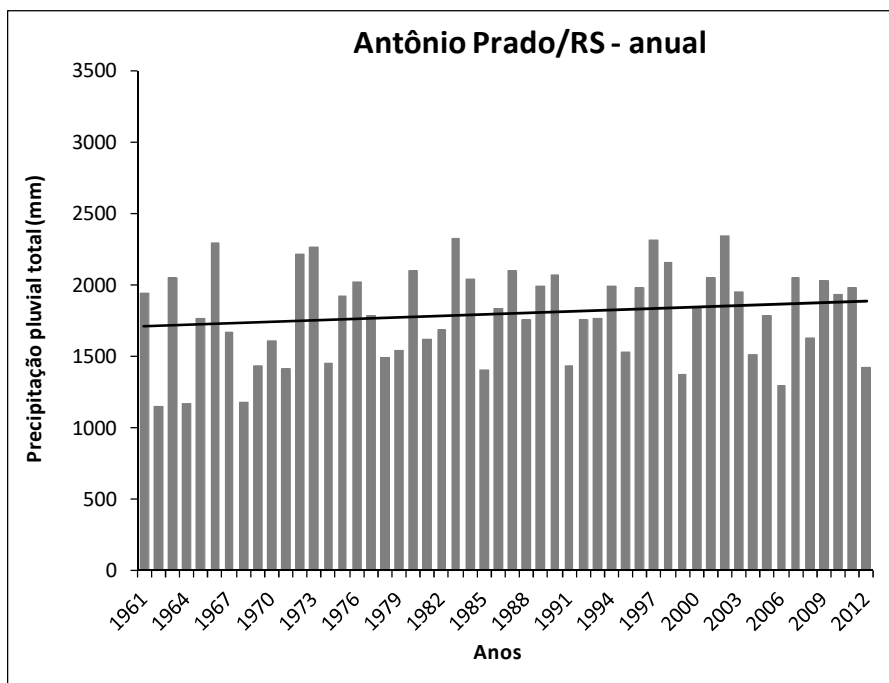
**Figura 35 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



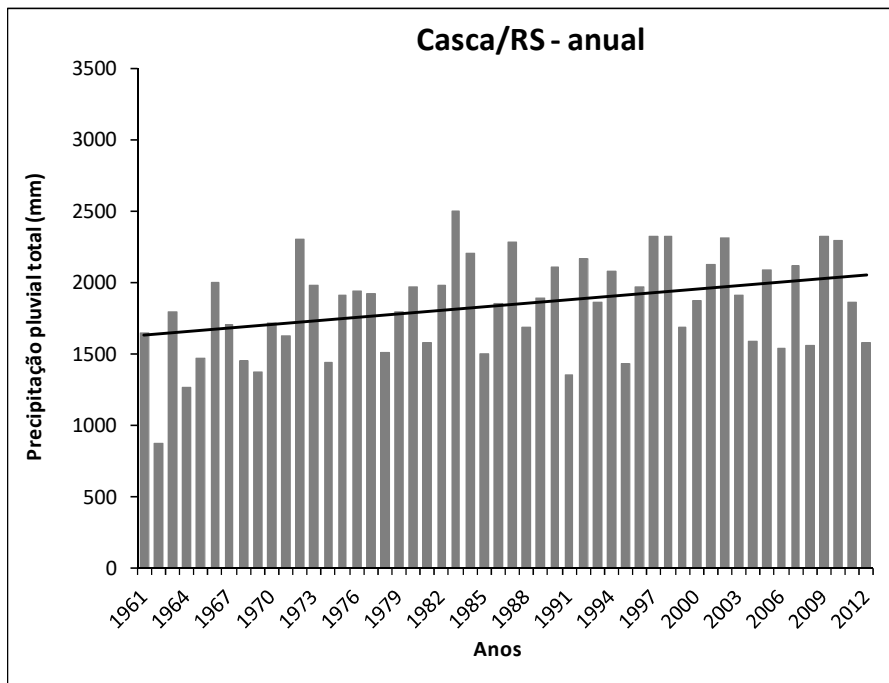
A precipitação pluvial total anual de Antônio Prado, média do período de 1961 a 2012, foi de 1.796 mm. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observam-se os anos em que ocorreram os maiores valores de precipitação pluvial: 2002 com 2.346 mm, 1983 com cerca de 2.326 mm, 1997 (2.309 mm), 1966 (2.291 mm) e 1973 (2.261 mm). No total foram 16 anos com precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já a menor precipitação pluvial anual registrada em Antônio Prado foi em 1962 (1.143 mm). Nos anos de 1964, 1968, 2006 e 1999 a precipitação pluvial foi de 1.169, 1.181, 1.297 e 1.378 mm, respectivamente.

Na estação de Casca (Figura ) a precipitação pluvial total anual, média do período de 1961-2012 foi de 1.840 mm. Os anos com precipitação pluvial anual no percentil 90 foram: 1983 (2.494 mm), 2009 (2.325 mm), 1997 (2.325 mm), 1998 (2.323 mm) e 2002 (2.309 mm). Ao todo, foram 15 anos com precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já nos anos mais secos (percentil 10), as precipitações anuais acumuladas foram: 875 mm (1962); 1.268 mm (1964); 1.356 mm (1991); 1.375 mm (1969) e 1.431 mm (1995).

**Figura 36 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 37- Figura 37 – Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**

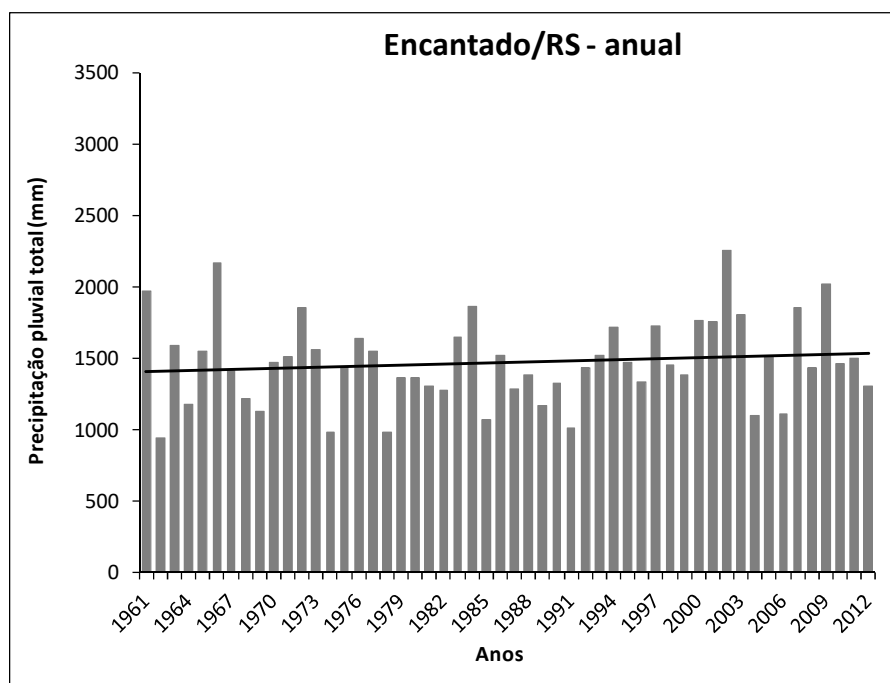


Depois de Porto Alegre, a estação meteorológica de Encantado foi a cidade que registrou o menor total anual, médio do período (1961-2012), de 1.473 mm e o menor número de anos com precipitação acumulada acima de 2.000 mm, com apenas 3 anos de precipitações pluviais abundantes (**Erro! Fonte**

**de referência não encontrada.**) Os anos em que houve os maiores registros de precipitação pluvial foram: 2002 com 2.257mm; 1966 (2.165 mm); 2009 (2.016 mm); 1961 (1.971 mm) e 1984 (1.859 mm). O ano de menor precipitação pluvial anual foi 1962, com somente 947 mm. Seguido pelos anos de 1974, 1978, 1991 e 1985, com 980, 985, 1.008 e 1.067mm, respectivamente.

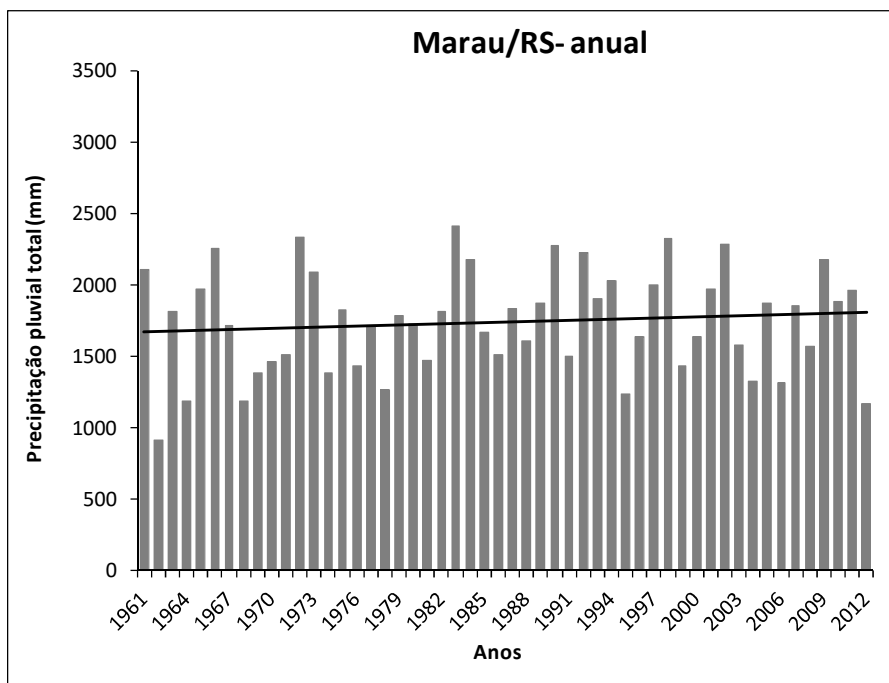
A precipitação total anual, média do período de 1961 a 2012, em Marau foi de 1.742 mm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). No percentil 90, as maiores precipitações pluviiais foram registradas nos anos de 1983 (2.410 mm), 1972 (2.329 mm), 1998 (2.325 mm), 2002 (2.285 mm) e 1990 (2.274 mm). Ao todo, foram 13 anos com precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm. Já as menores precipitações pluviiais foram registradas nos anos de 1962 (915 mm), 2012 (1.171 mm), 1968 (1.184 mm), 1964 (1.192 mm) e 1995 (1.233 mm).

**Figura 38 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**

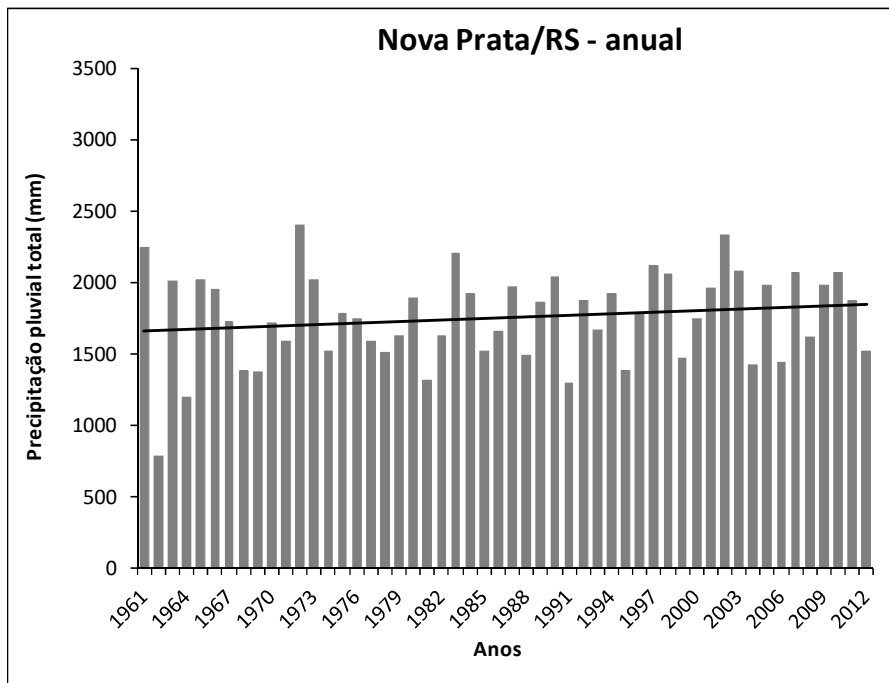


A precipitação pluvial total anual de Nova Prata, média do período de 1961 a 2012, foi de 1.756 mm. No percentil 90, se encontram os anos de 1972 com 2.406 mm; 2002 com 2.334 mm; 1961 com 2.246 mm; 1983 com 2.207 mm e 1997 com 2.115 mm. No total, 13 anos da série analisada apresentaram precipitação pluvial anual maior que 2.000 mm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Já os menores volumes de precipitação pluvial anual ocorreram em 1962 (785 mm); 1964 (1.197 mm); 1991 (1.292 mm); 1981 (1.318 mm) e 1969 (1.376 mm).

**Figura 39 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 40 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**

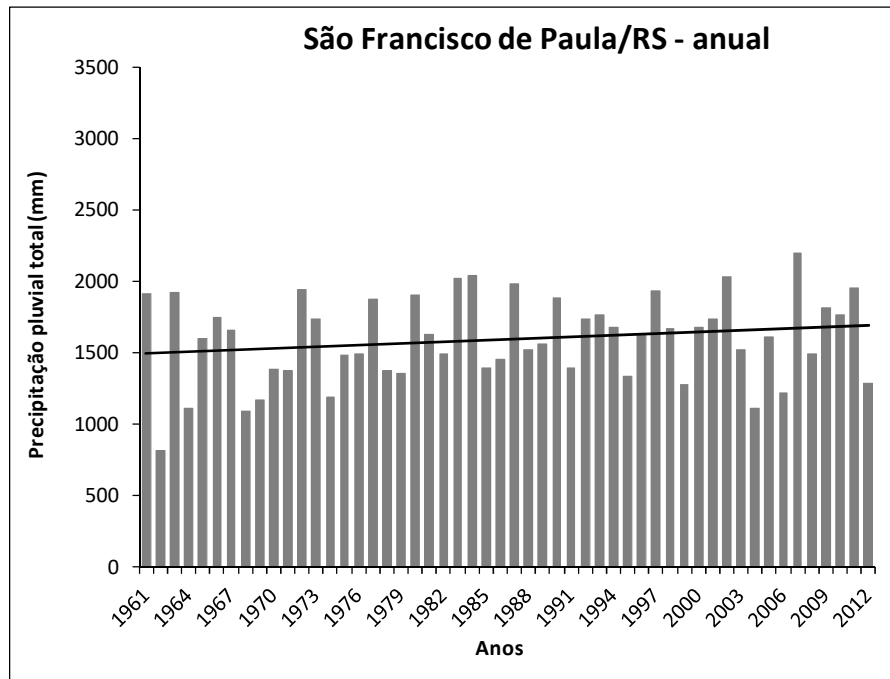


O total anual médio do período (1961-2012) em São Francisco de Paula, foi de 1.594 mm e os anos com os maiores registros de precipitação pluvial foram: 2007 (2.199mm); 1984 (2.042 mm); 2002 (2.031 mm); 1983 (2.019 mm) e 1987 (1.983 mm).

O Depois de Encantado, São Francisco de Paula foi a estação meteorológica que apresentou o menor número de anos com precipitação acumulada acima de 2.000 mm, com apenas 4 anos de precipitações pluviais abundantes (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). ano de menor valor de precipitação pluvial anual foi 1962, com somente 814 mm. Seguido pelos anos de 1968, 1964, 2004 e 1969, com 1.087, 1.106, 1.109 e 1.163mm, respectivamente.

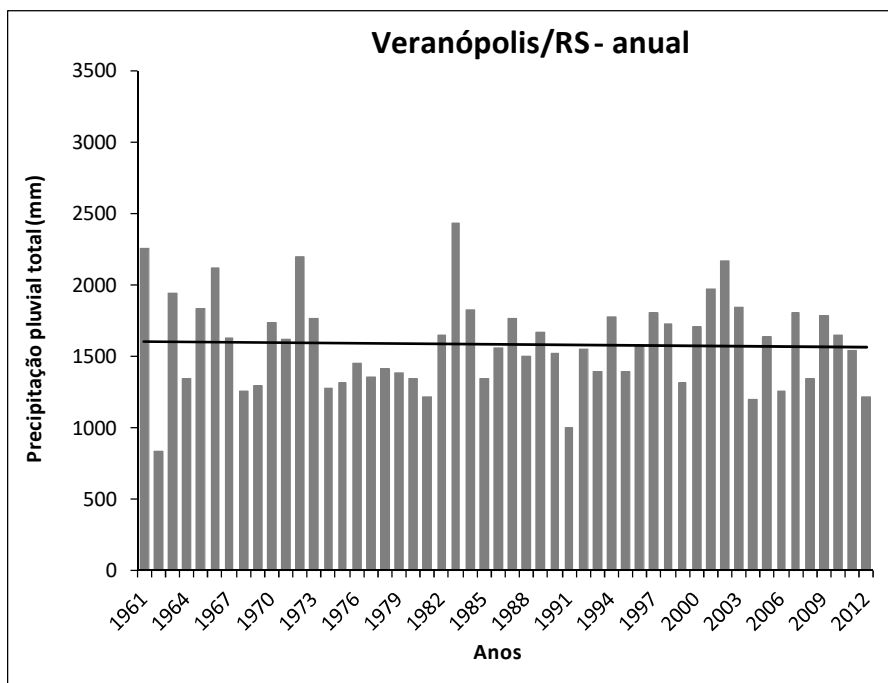
Depois de Encantado, Veranópolis foi a estação meteorológica que apresentou o menor total anual médio do período (1961-2012), de 1.586 mm, com apenas 5 anos com precipitação acumulada acima de 2.000 mm (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os anos em que houve os maiores registros de precipitação pluvial foram: 1983 com 2.430mm; 1961 (2.256 mm); 1972 (2.194 mm); 2002 (2.165 mm) e 1966 (2.113 mm). O ano de menor precipitação pluvial anual, assim como nas demais estações, foi 1962, com somente 837 mm. Seguido pelos anos de 1991, 2004, 1981 e 2012, com 1.004, 1.201, 1.213 e 1.220mm, respectivamente.

**Figura 41 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**





**Figura 42 - Precipitação pluvial total anual na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



No ano de 1962 foi registrada a menor precipitação pluvial anual em todas as estações meteorológicas analisadas, isto pode estar associado à forte influência de uma La Niña iniciada na primavera do referido ano.

Cabe destacar que além das estações meteorológicas estudadas apresentarem as mais altas precipitações pluviais do Rio Grande do Sul, todas apresentaram tendências de aumento nos totais anuais, com exceção de Veranópolis. Os aumentos foram, estatisticamente, significativos, no caso de Cruz Alta, Passo Fundo, Porto Alegre, Santa Maria, Casca e São Francisco de Paula. Embora os aumentos na precipitação pluvial ao ano parecerem pequenos: 6,7 mm; 5,1 mm; 5,1 mm; 4,6 mm; 8,2 mm; 3,9 mm, nestas estações, respectivamente, no período de 1961 a 2012, representam um aumento na precipitação pluvial anual de 350 mm em Cruz Alta; 265 mm em Passo Fundo; 267 mm em Porto Alegre; 240 mm em Santa Maria; 429 mm em Casca; e 201 mm em São Francisco de Paula (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Esses resultados são muito significativos, principalmente, se estas precipitações pluviais forem intensas.

**Tabela 5 - Tendências climáticas da precipitação pluvial anual no período de 1961 até 2012.**

Tendências climáticas	Anual	
Precipitação pluvial (mm)	$\beta_1$ (mm/ano)	52 anos (mm)
Bom Jesus	1,5977	83
Caxias do Sul	0,2171	11

Cruz Alta	6,7247**	350
Passo Fundo	5,0986*	265
Porto Alegre	5,1339**	267
Santa Maria	4,6236*	240
Antonio Prado	3,4916	182
Casca	8,2412***	429
Encantado	2,5860	134
Marau	2,6831	140
Nova Prata	3,6912	192
São Francisco de Paula	3,8716*	201
Veranópolis	-0,7915	-41

\* Significativo a 10%.

\*\* Significativo a 5%.

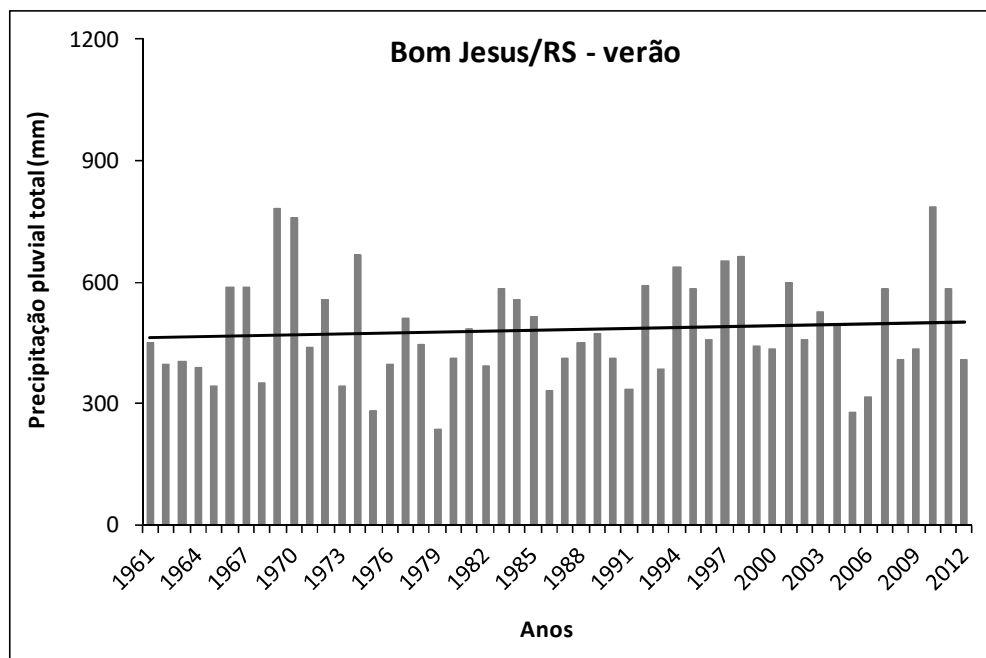
\*\*\* Significativo a 1%.

Demais incrementos não significativos pelo Teste T.

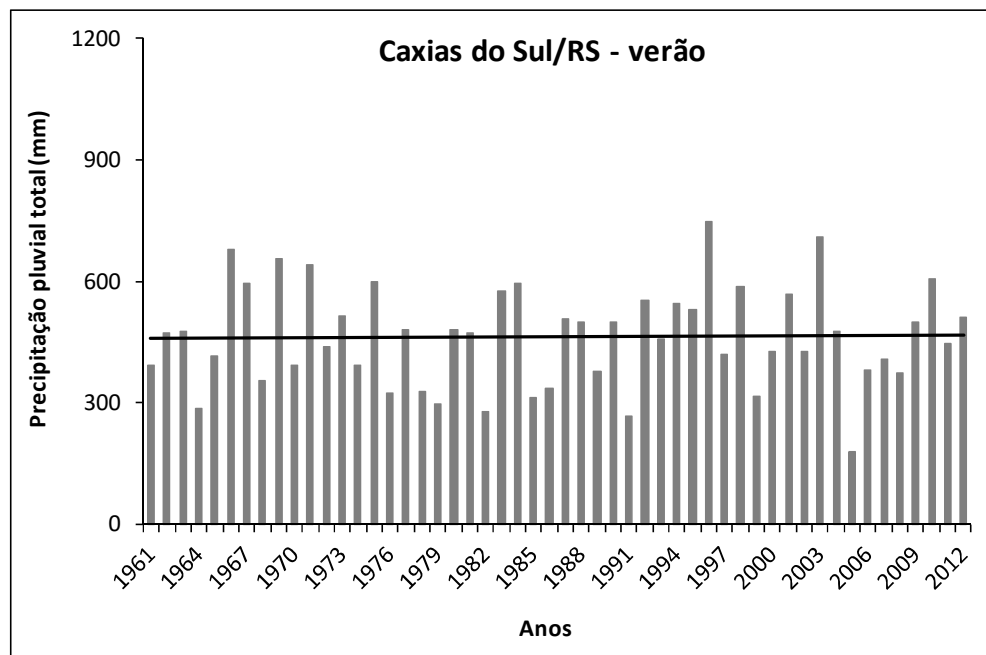
Assim como no caso anual, as quatro estações do ano apresentaram alta variabilidade interanual em todas as estações meteorológicas.

No verão a precipitação média do período de 1961 a 2012 foi de 480 mm em Bom Jesus; 463 mm em Caxias do Sul; 432 mm em Cruz Alta; 464 mm em Passo Fundo; 323 mm em Porto Alegre; 427 mm em Santa Maria; 491 mm em Antônio Prado; 476 mm em Casca; 351 mm em Encantado; 424 mm em Marau; 435 mm em Nova Prata; 447 mm em São Francisco de Paula; e 416 mm em Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a 55). Embora todas as estações meteorológicas tenham apresentado tendência de aumento da precipitação pluvial no verão, com exceção de Passo Fundo, Antônio Prado, Encantado e Veranópolis, nenhuma das tendências foi estatisticamente significativa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

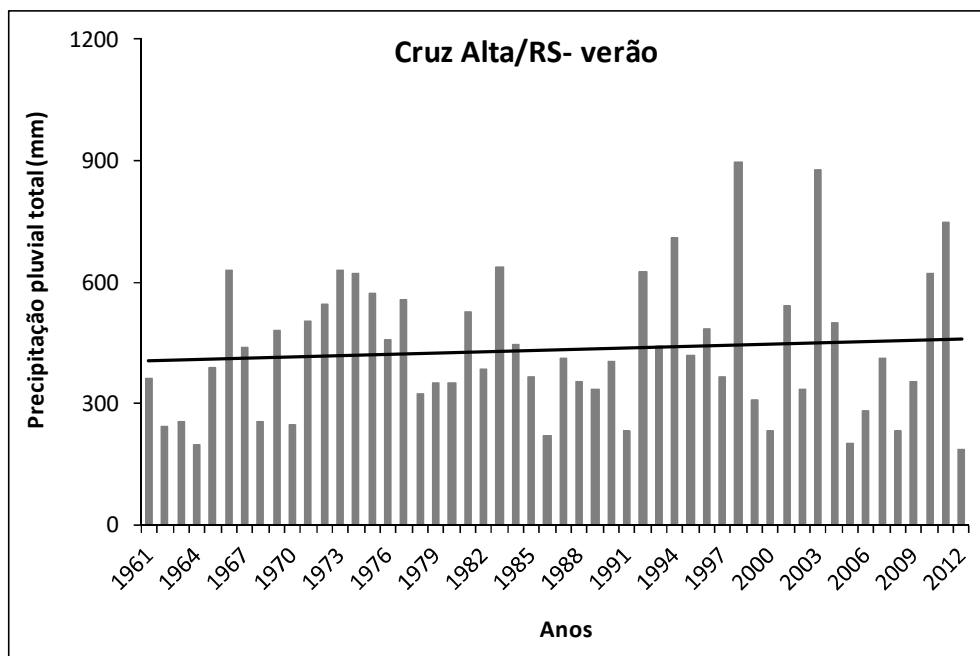
**Figura 43 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



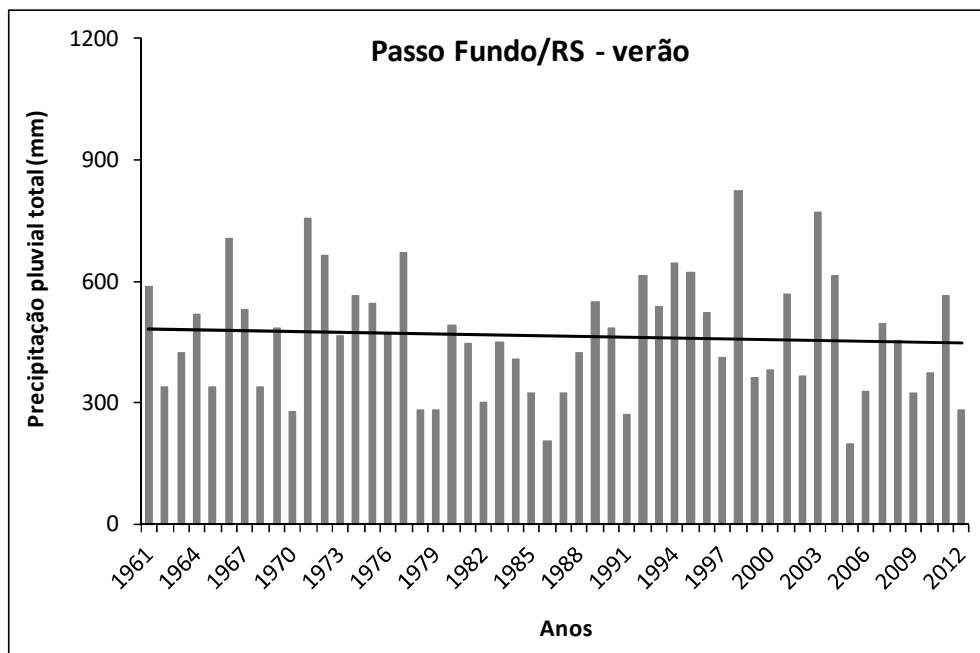
**Figura 44 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



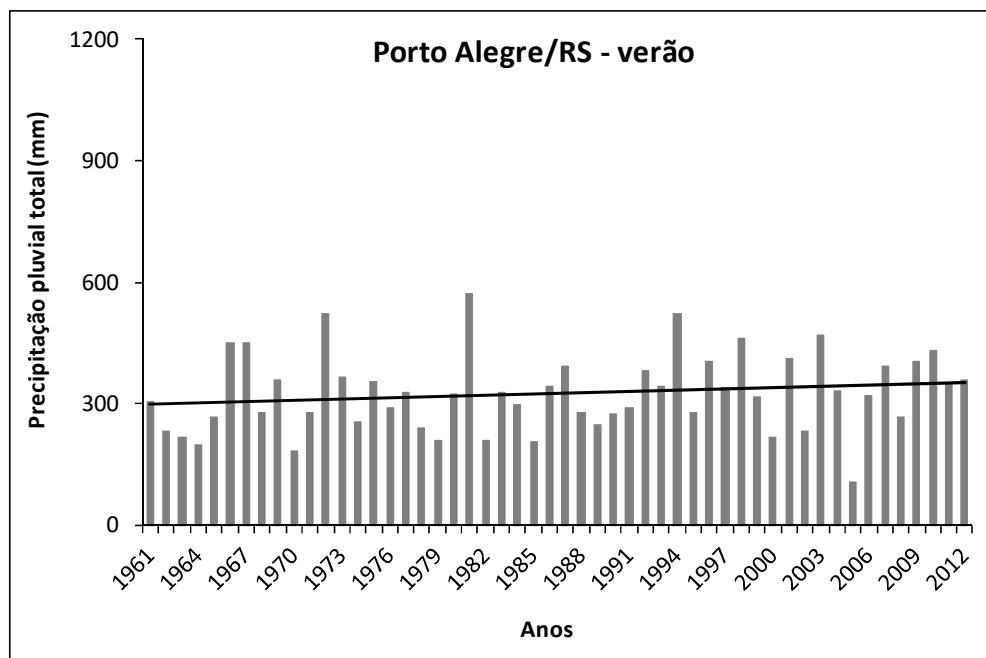
**Figura 45 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



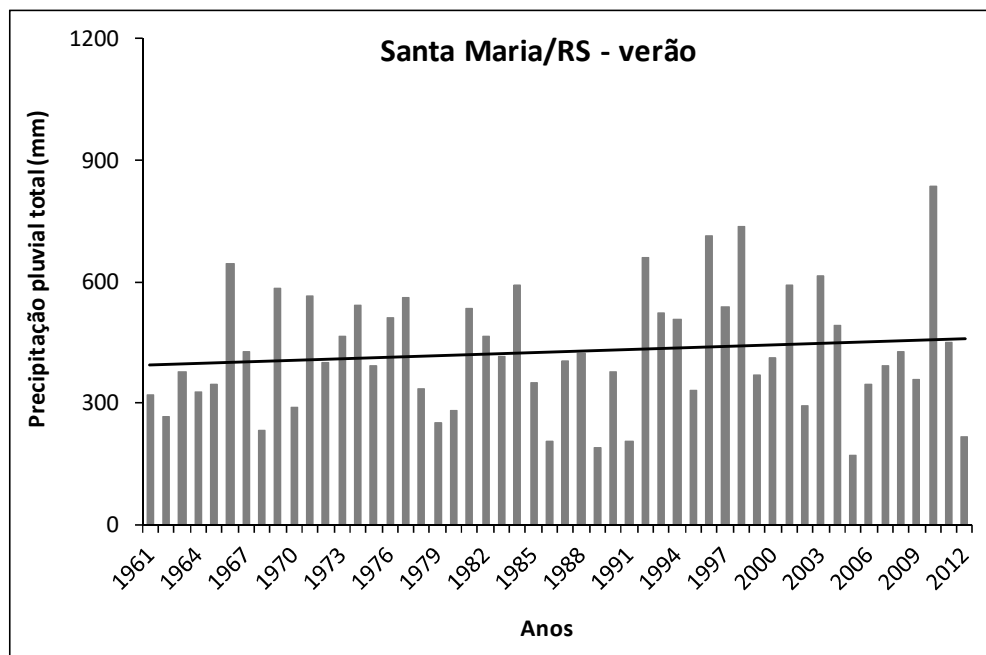
**Figura 46 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



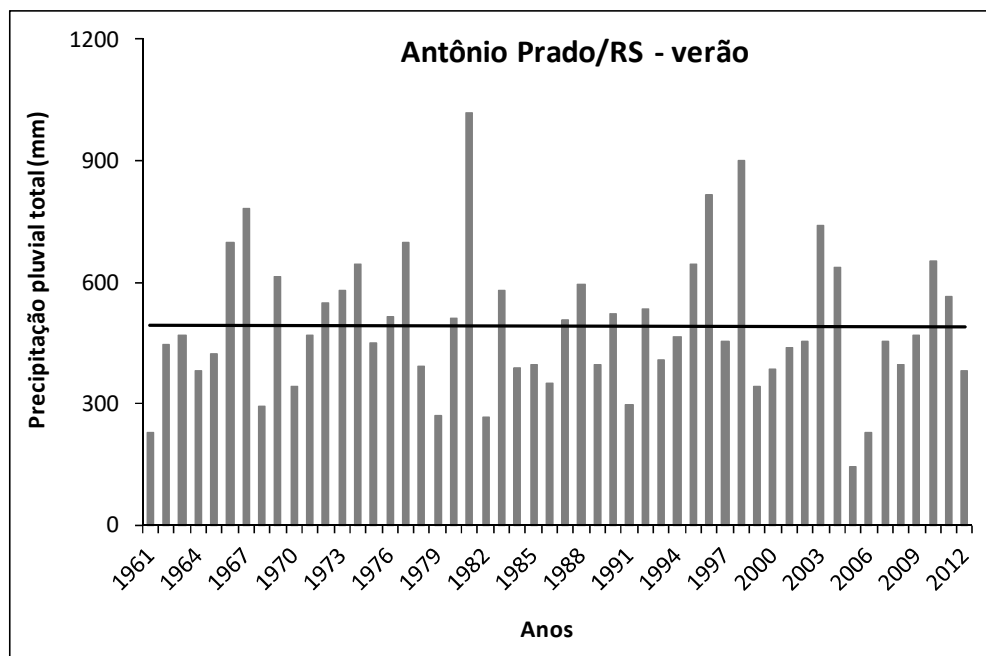
**Figura 47 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



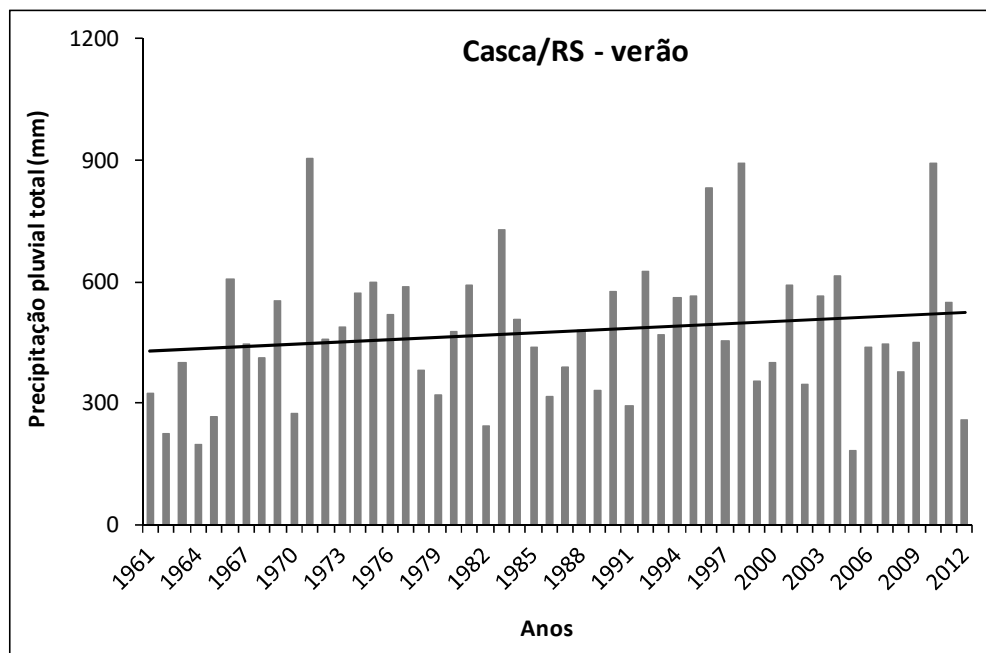
**Figura 48 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



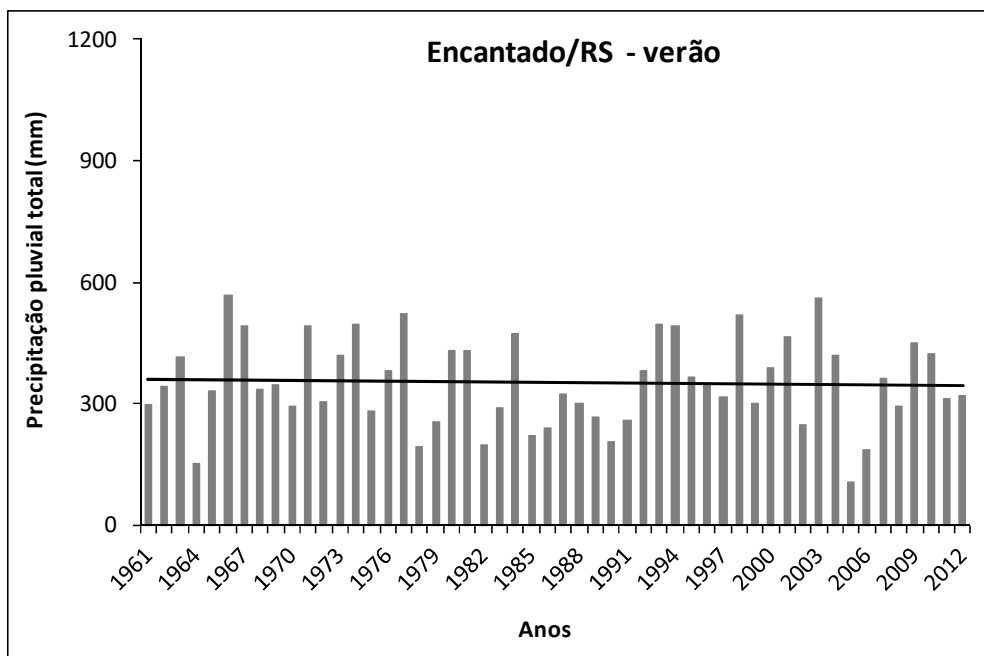
**Figura 49 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



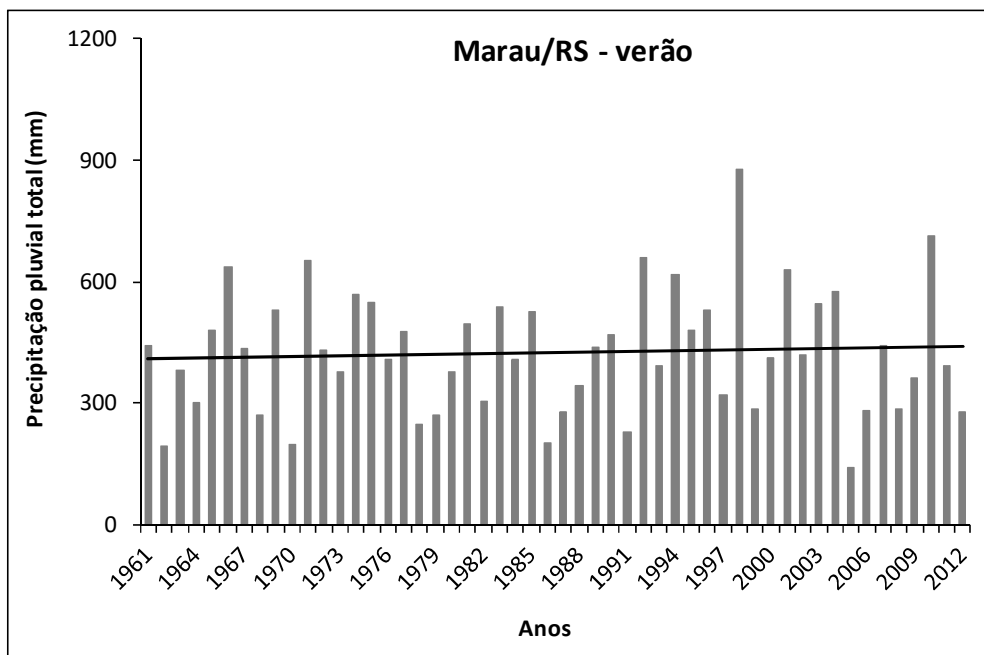
**Figura 50 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



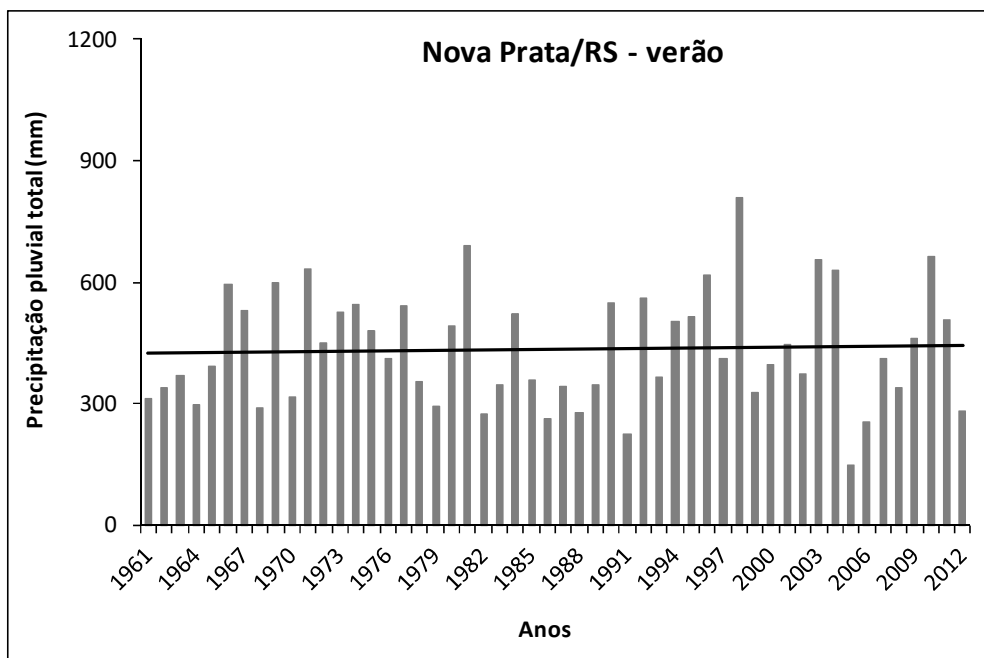
**Figura 51 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



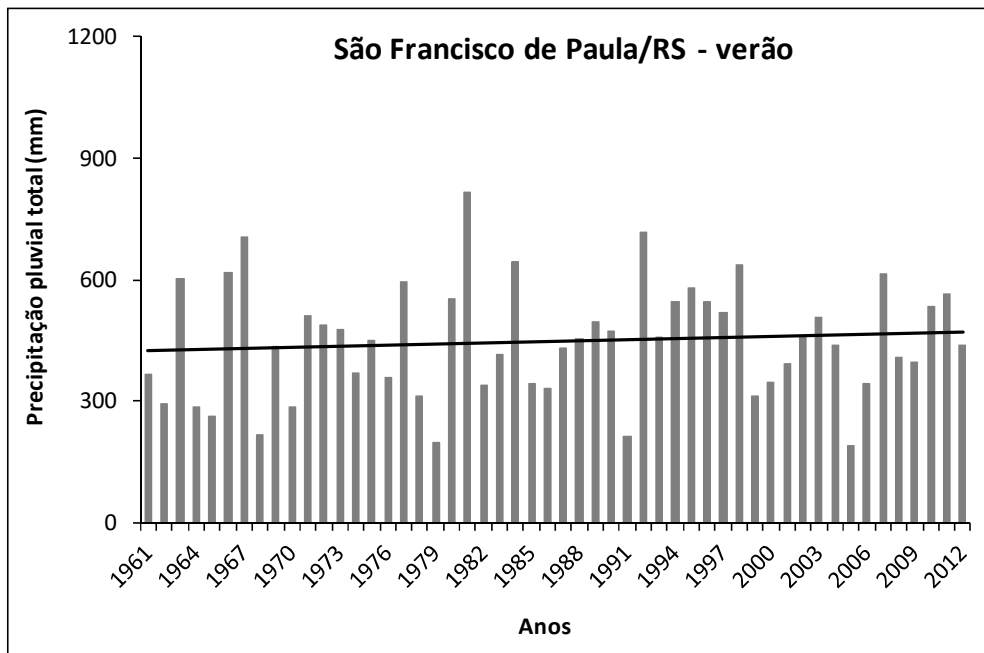
**Figura 52 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 53 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**

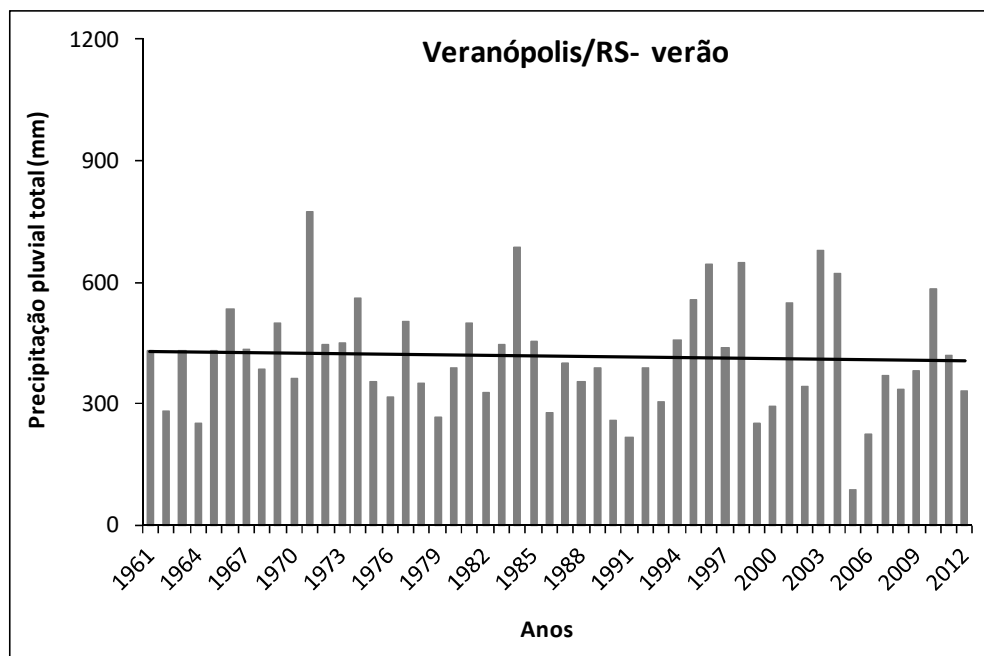


**Figura 54 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**





**Figura 55 - Precipitação pluvial total no verão na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Tabela 6 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no verão, no período de 1961 até 2012.**

Tendências climáticas	Verão	
Precipitação pluvial (mm)	$\beta_1$ (mm/ano)	52 anos (mm)
Bom Jesus	0,7429	39
Caxias do Sul	0,1269	7
Cruz Alta	1,0208	53
Passo Fundo	-0,7033	-37
Porto Alegre	1,0322	54
Santa Maria	1,2457	65
Antonio Prado	-0,0937	-5
Casca	1,8326	95
Encantado	-0,3310	-17
Marau	0,6239	32
Nova Prata	0,3754	20
São Francisco de Paula	0,9169	48
Veranópolis	-0,4610	-24

\* Significativo a 10%.

\*\* Significativo a 5%.

\*\*\* Significativo a 1%.

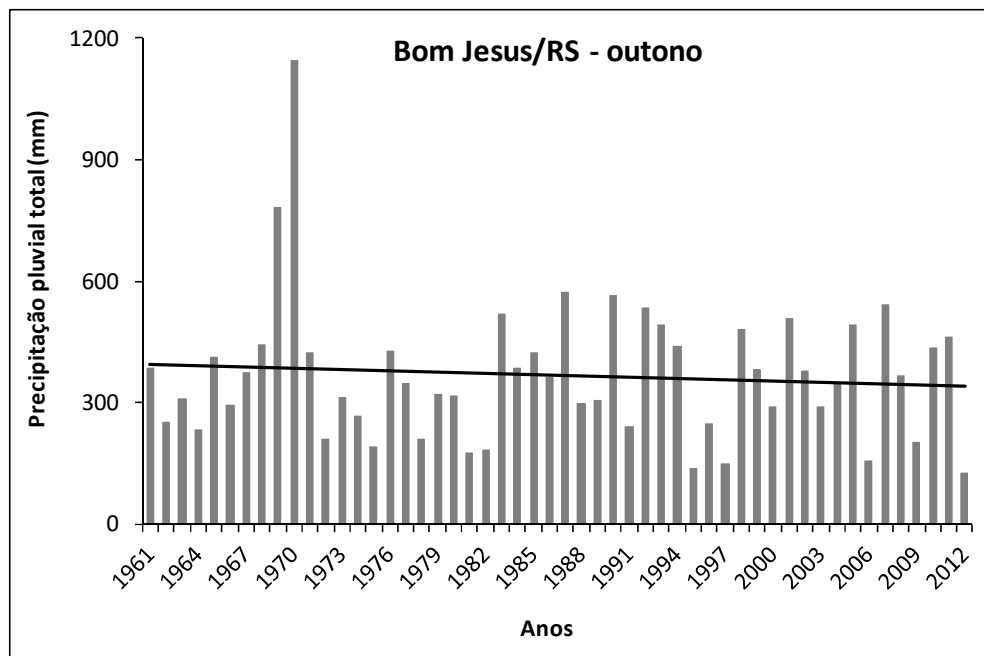
Demais incrementos não significativos pelo Teste T.

No outono a precipitação média do período de 1961 a 2012 foi de 367 mm em Bom Jesus; 376 mm em Caxias do Sul; 412 mm em Cruz Alta; 394 mm em Passo Fundo; 300 mm em Porto Alegre; 414 mm em

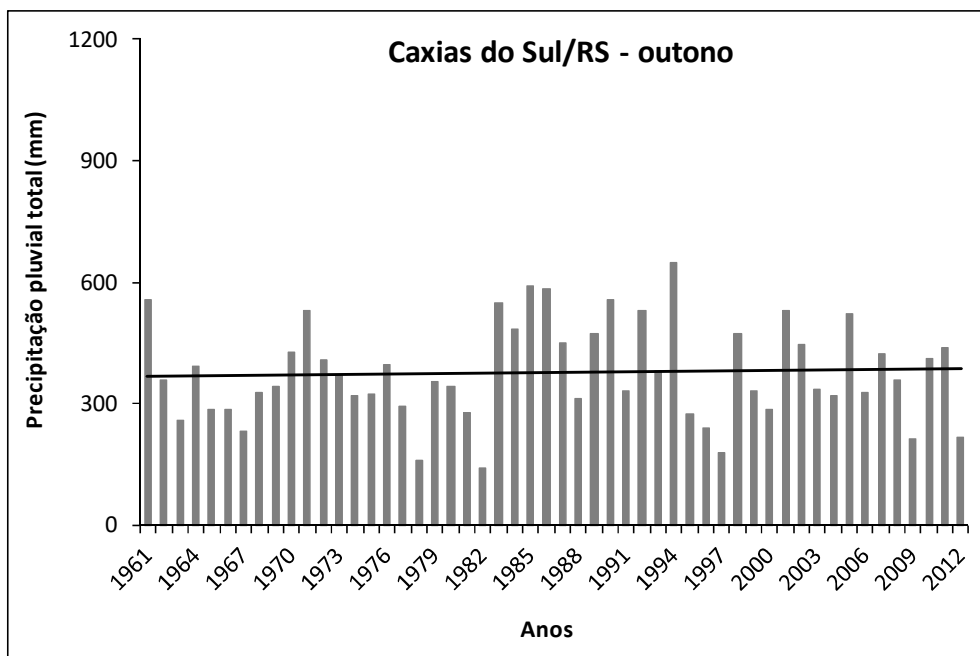
Santa Maria; 363 mm em Antônio Prado; 374 mm em Casca; 301 mm em Encantado; 361 mm em Marau; 362 mm em Nova Prata; 318 mm em São Francisco de Paula; e 328 mm em Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada. aErro! Fonte de referência não encontrada.**).

O outono foi a estação do ano de menor precipitação pluvial em todas as estações meteorológicas analisadas, com exceção de Santa Maria, em que a precipitação pluvial foi semelhante ao inverno.

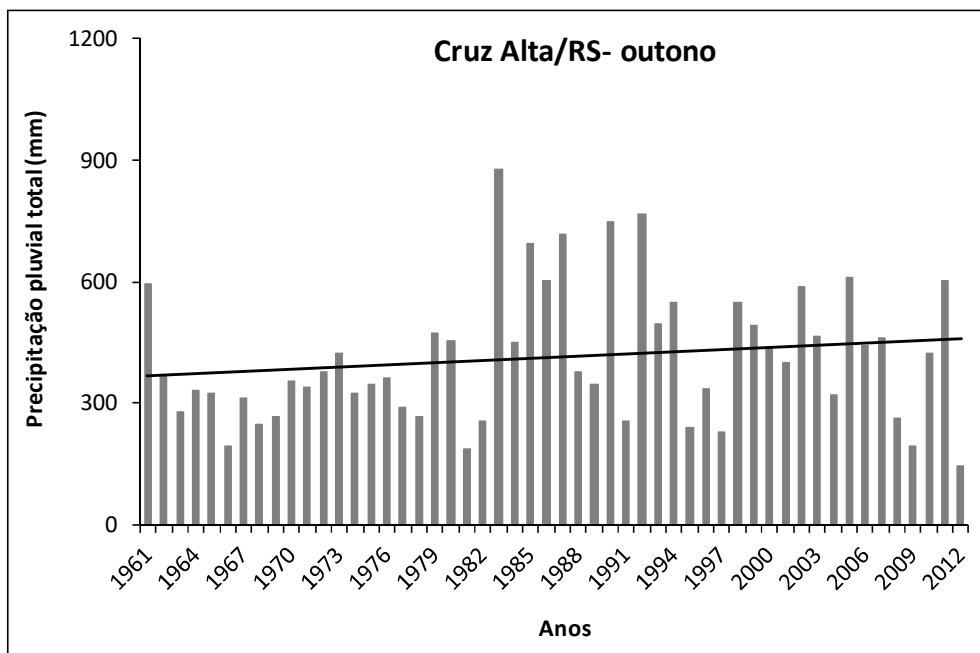
**Figura 56 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



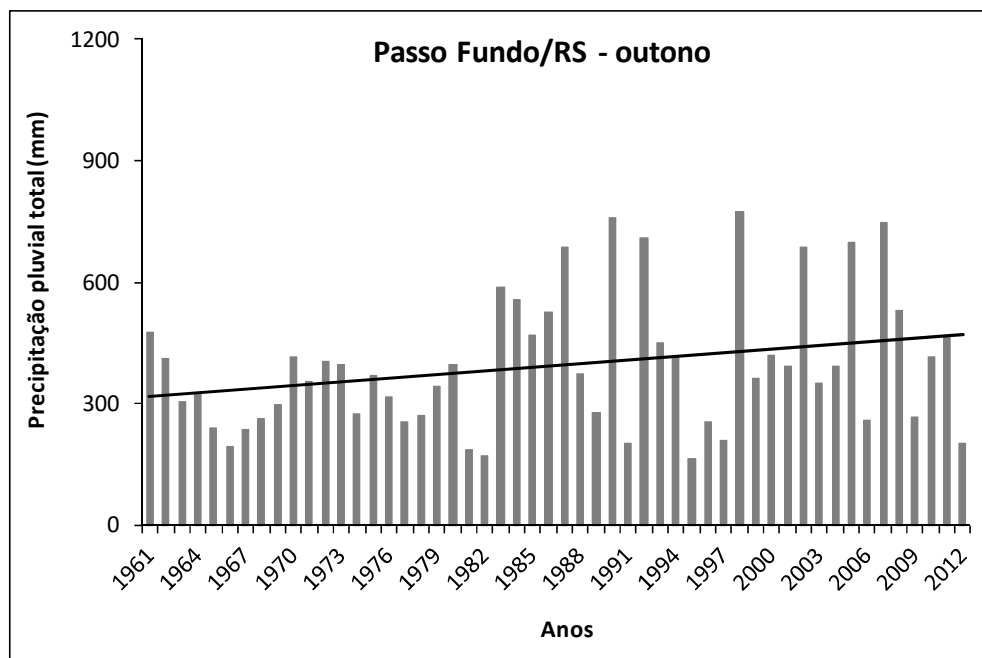
**Figura 57 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



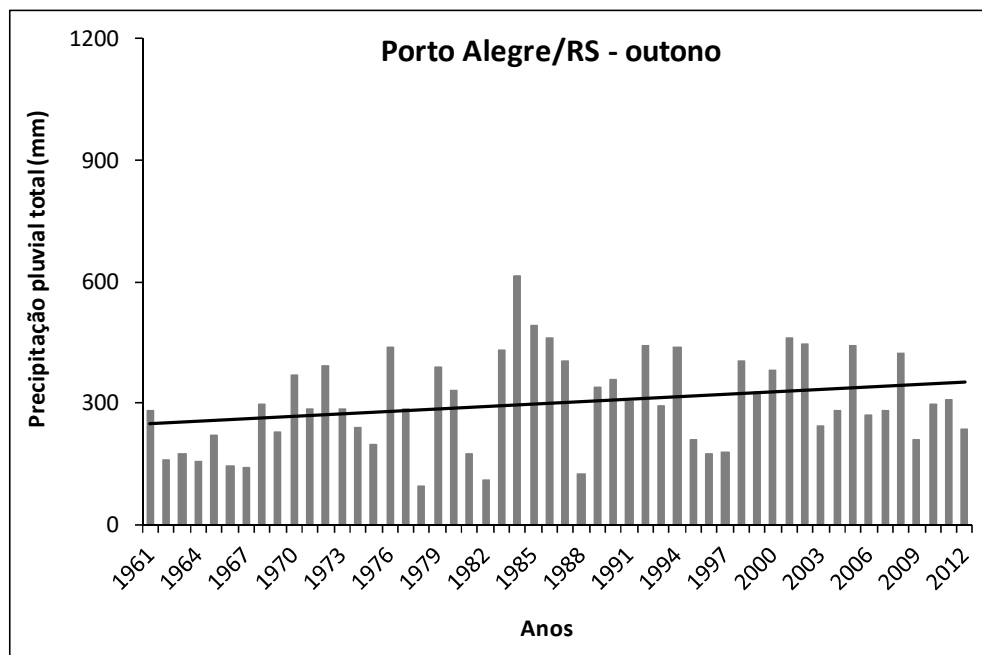
**Figura 58 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



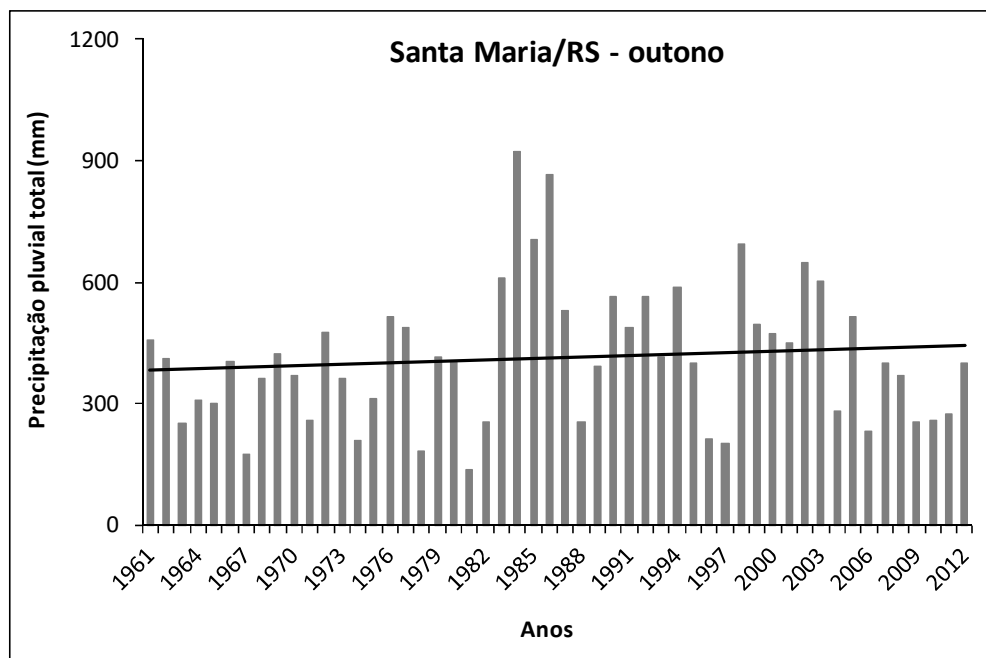
**Figura 59 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



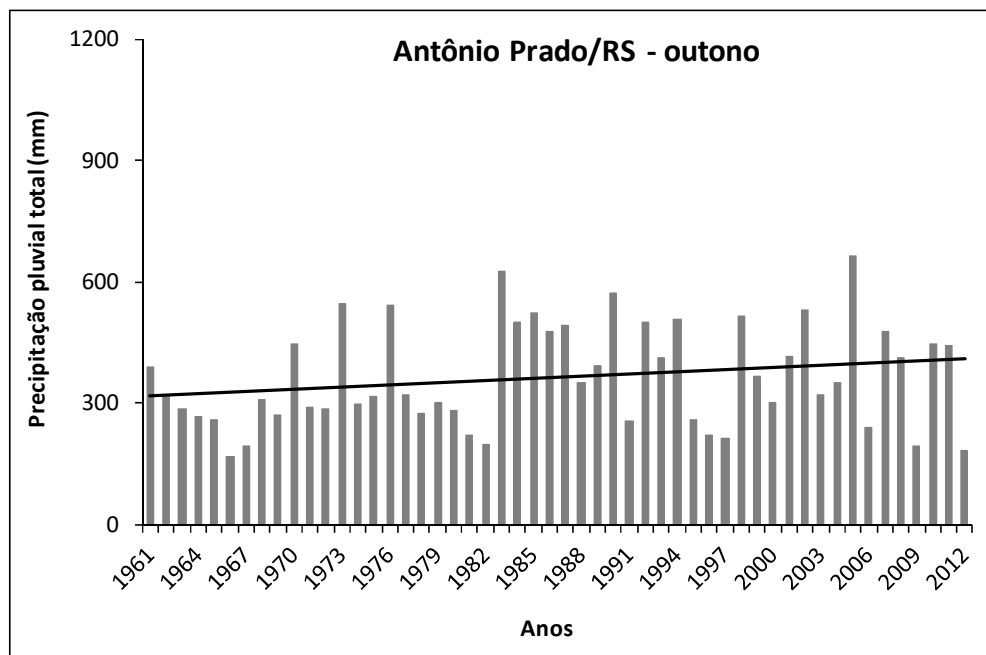
**Figura 60 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



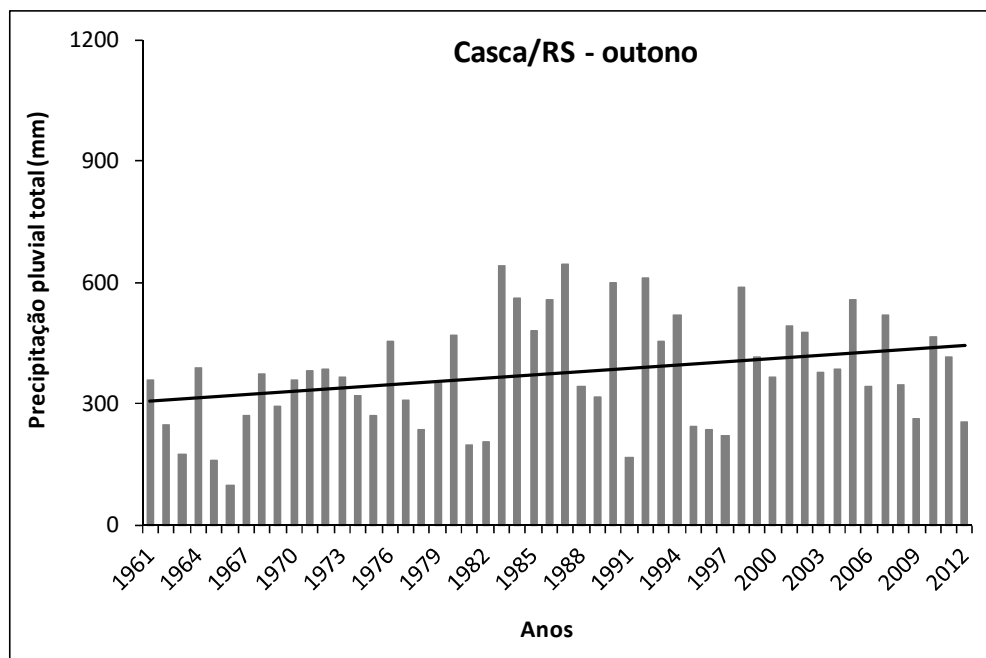
**Figura 61 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



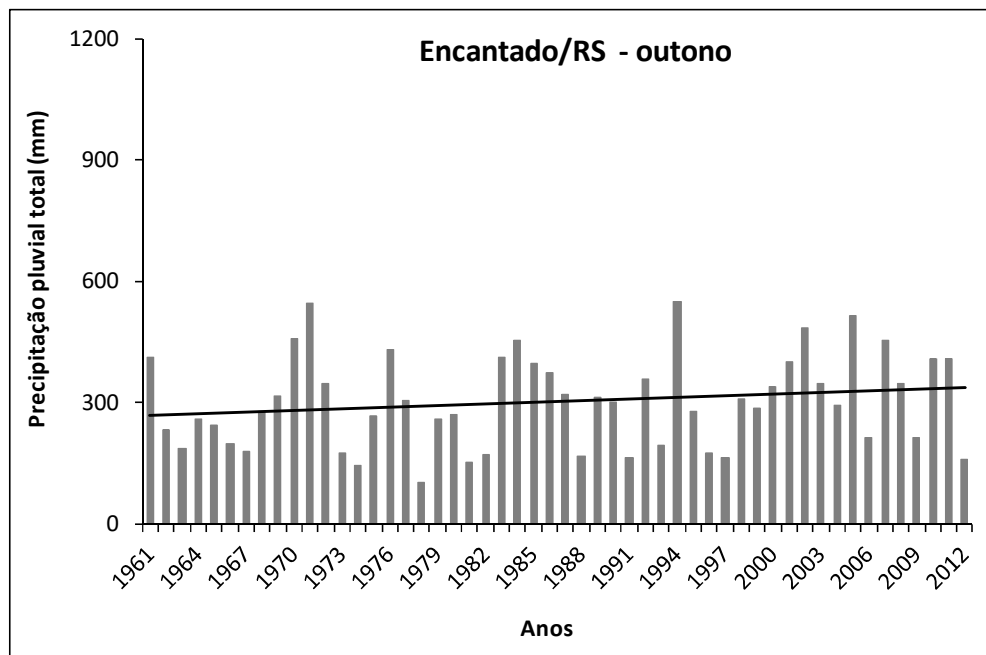
**Figura 62 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



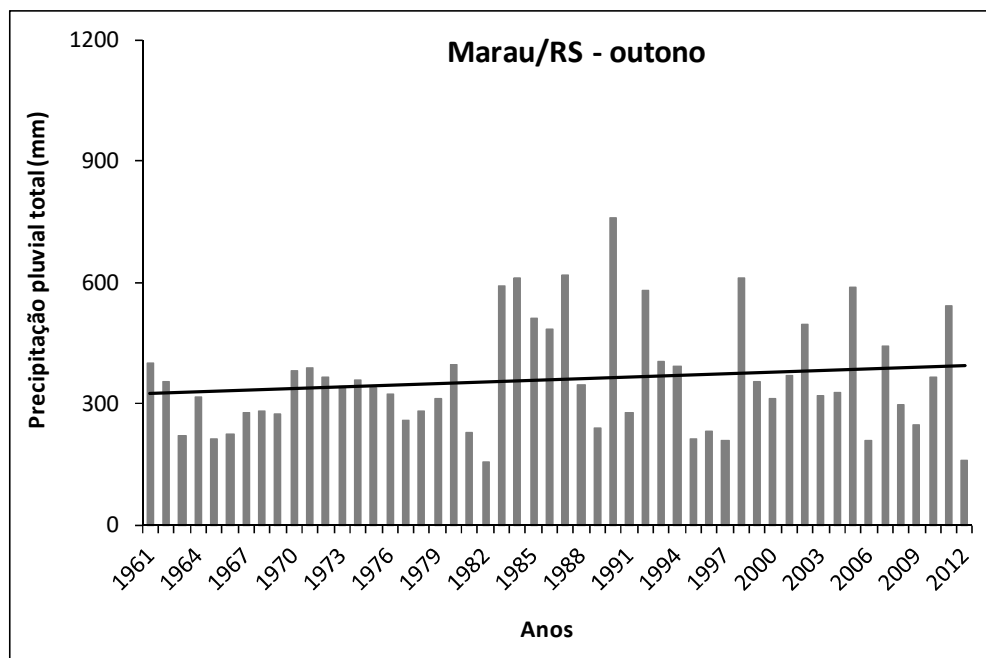
**Figura 63 - Precipitação pluviométrica total no outono na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



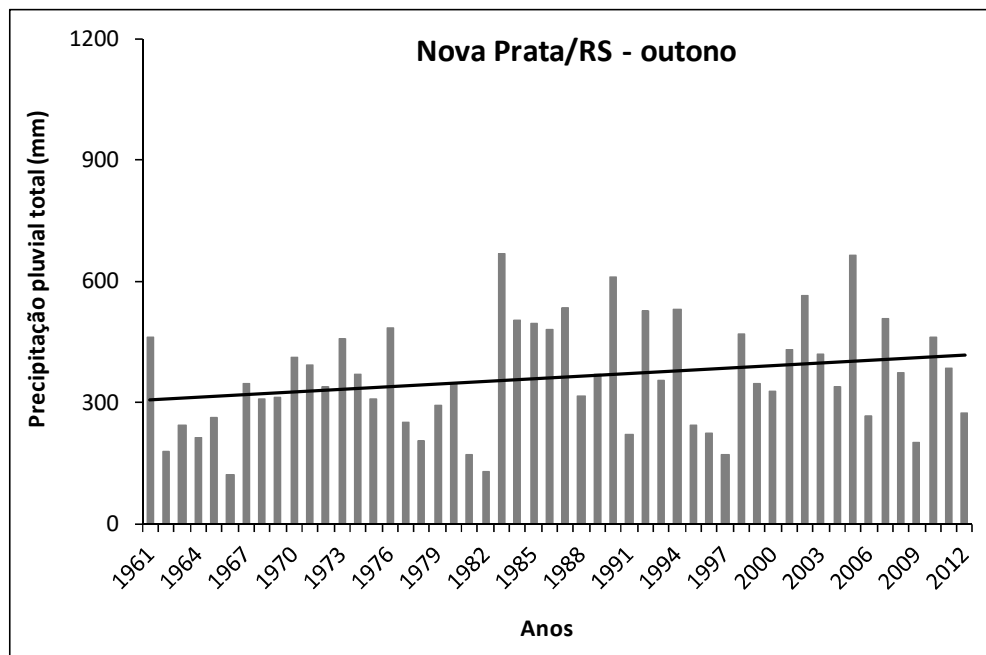
**Figura 64 - Precipitação pluviométrica total no outono na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



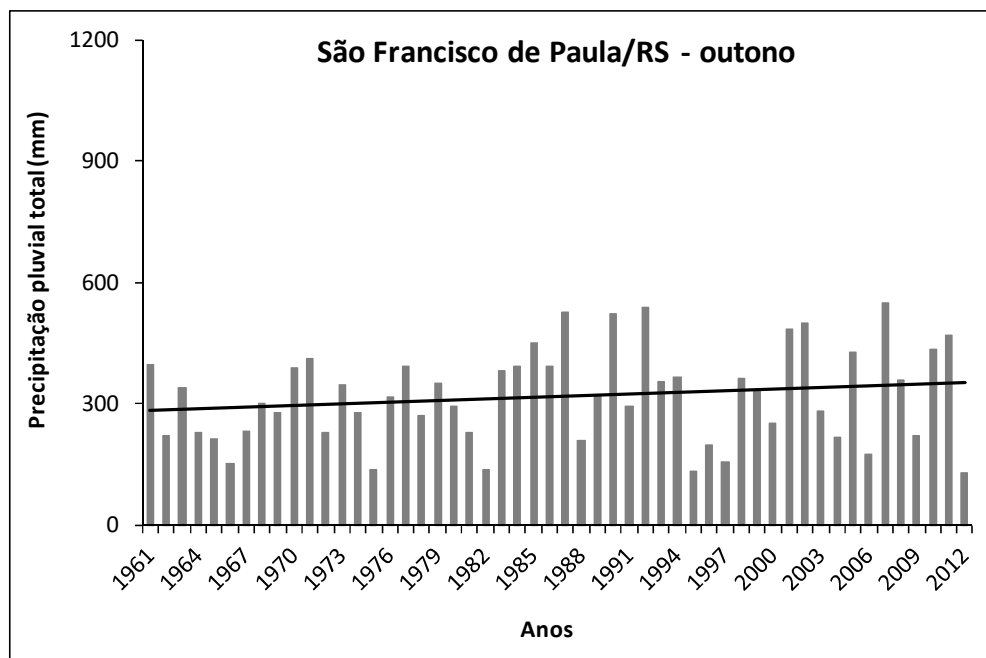
**Figura 65 - Precipitação pluviométrica total no outono na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



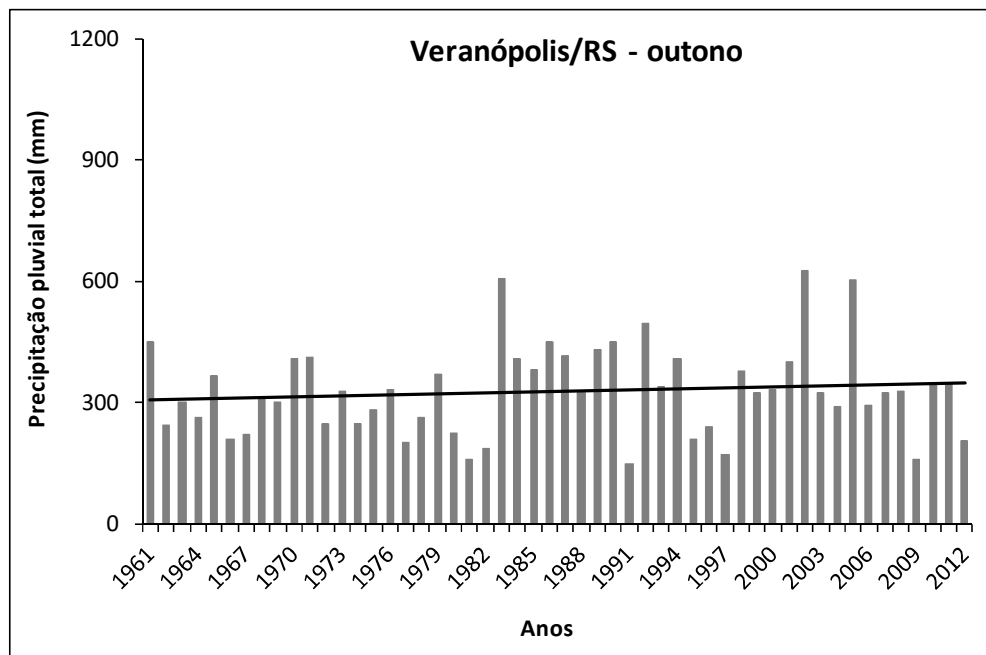
**Figura 66 - Precipitação pluviométrica total no outono na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 67 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 68 - Precipitação pluvial total no outono na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



Todas as estações apresentaram tendência de aumento da precipitação pluvial no outono, com exceção de Bom Jesus. Dessas, Passo Fundo, Porto Alegre, Antônio Prado, Casca, Nova Prata e São Francisco de Paula, apresentaram tendências de aumentos, estatisticamente, significativas. Os aumentos na



precipitação pluvial ao ano de 3 mm; 2,1 mm; 1,8 mm; 2,7 mm; 2,2 mm e 1,4 mm, nestas estações, respectivamente, em 52 anos representaram no outono, um aumento de 156 mm em Passo Fundo; 107 mm em Porto Alegre; 93 mm em Antônio Prado; 141 mm em Casca; 112 mm em Nova Prata e 73 mm em São Francisco de Paula (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

**Tabela 7 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no outono, no período de 1961 até 2012.**

Tendências climáticas	Outono	
	$\beta_1$ (mm/ano)	52 anos (mm)
Precipitação pluvial (mm)		
Bom Jesus	-1,0516	-55
Caxias do Sul	0,3725	19
Cruz Alta	1,8150	94
Passo Fundo	3,0015**	156
Porto Alegre	2,0599**	107
Santa Maria	1,2230	64
Antonio Prado	1,7854*	93
Casca	2,7201**	141
Encantado	1,3465	70
Marau	1,3535	70
Nova Prata	2,1555**	112
São Francisco de Paula	1,4095*	73
Veranópolis	0,8440	44

\* Significativo a 10%.

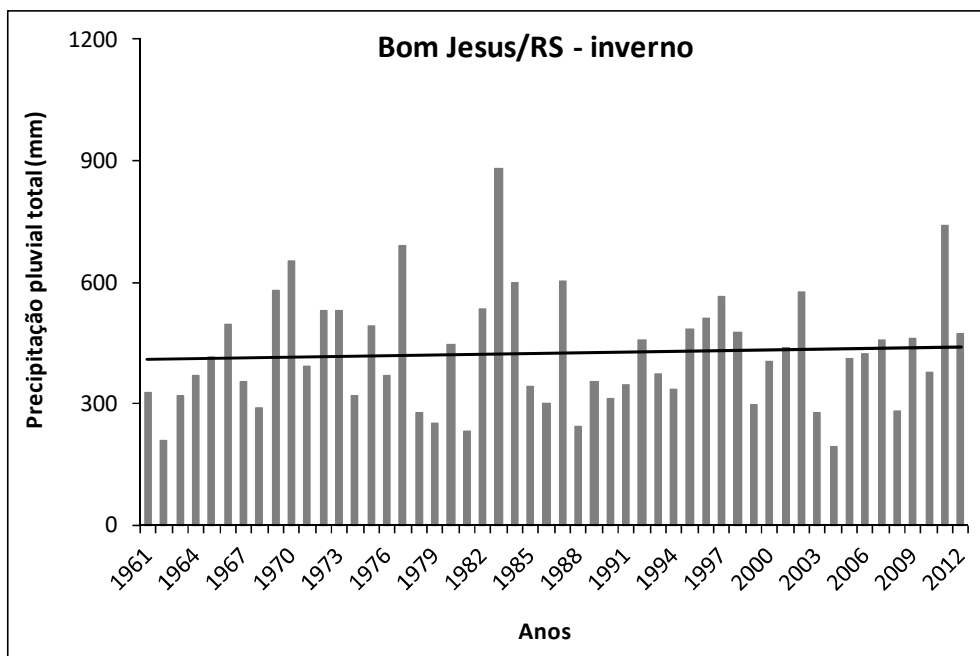
\*\* Significativo a 5%.

\*\*\* Significativo a 1%.

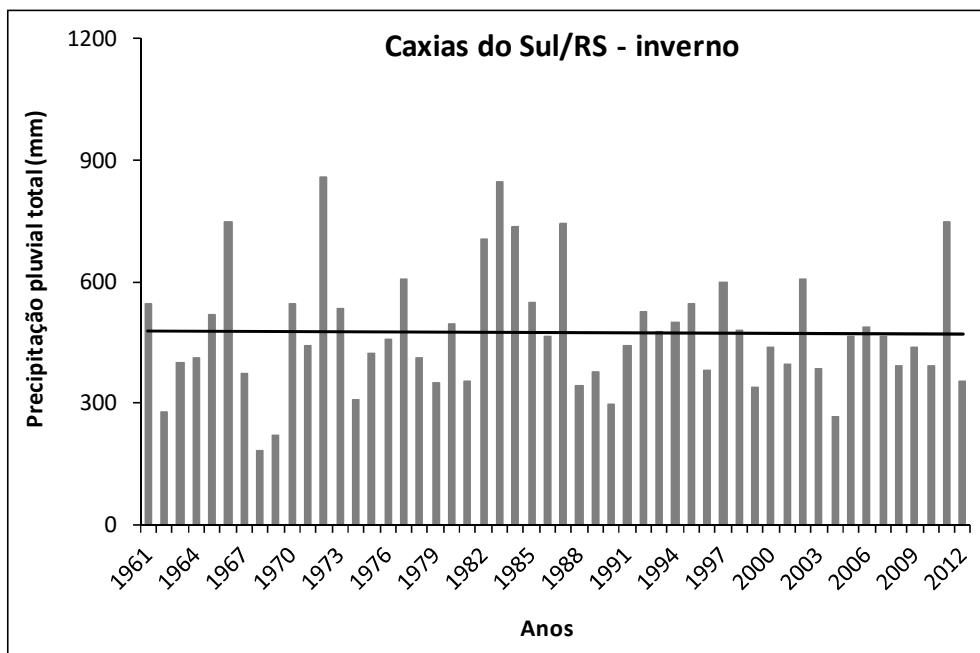
Demais incrementos não significativos pelo Teste T.

A precipitação média do período de 1961 a 2012 no inverno foi de 424 mm em Bom Jesus; 473 mm em Caxias do Sul; 443 mm em Cruz Alta; 452 mm em Passo Fundo; 398 mm em Porto Alegre; 411 mm em Santa Maria; 456 mm em Antônio Prado; 465 mm em Casca; 405 mm em Encantado; 443 mm em Marau; 462 mm em Nova Prata; 396 mm em São Francisco de Paula; e 403 mm em Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a 81).

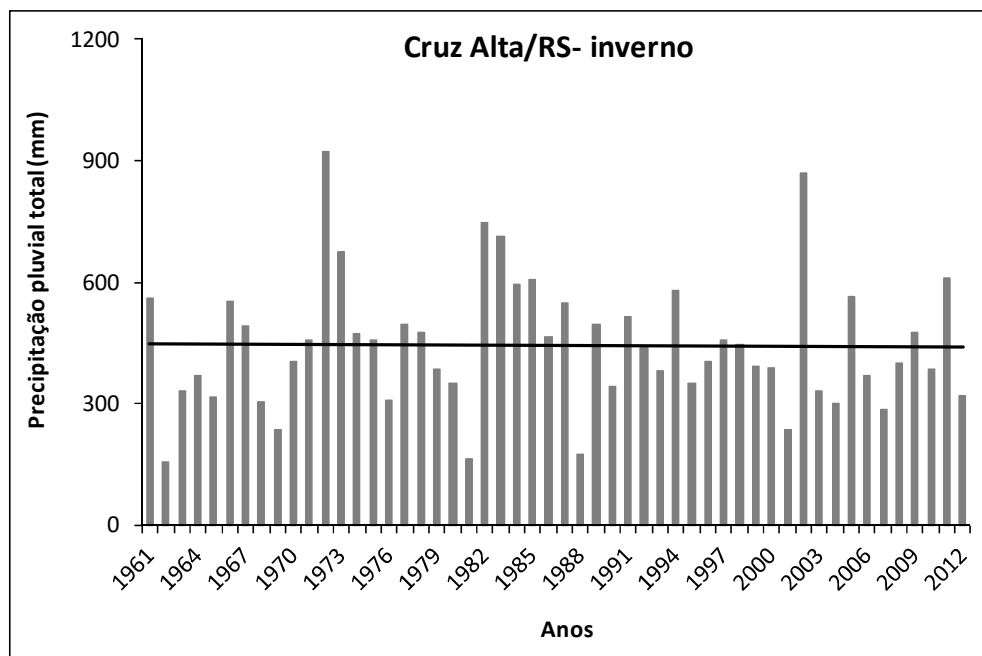
**Figura 69 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



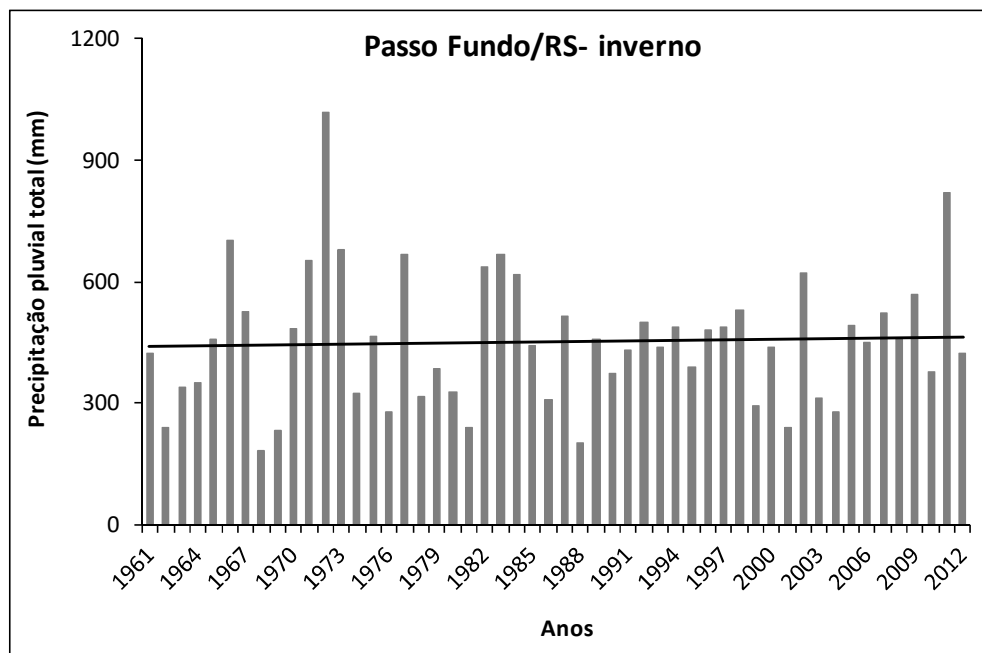
**Figura 70 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



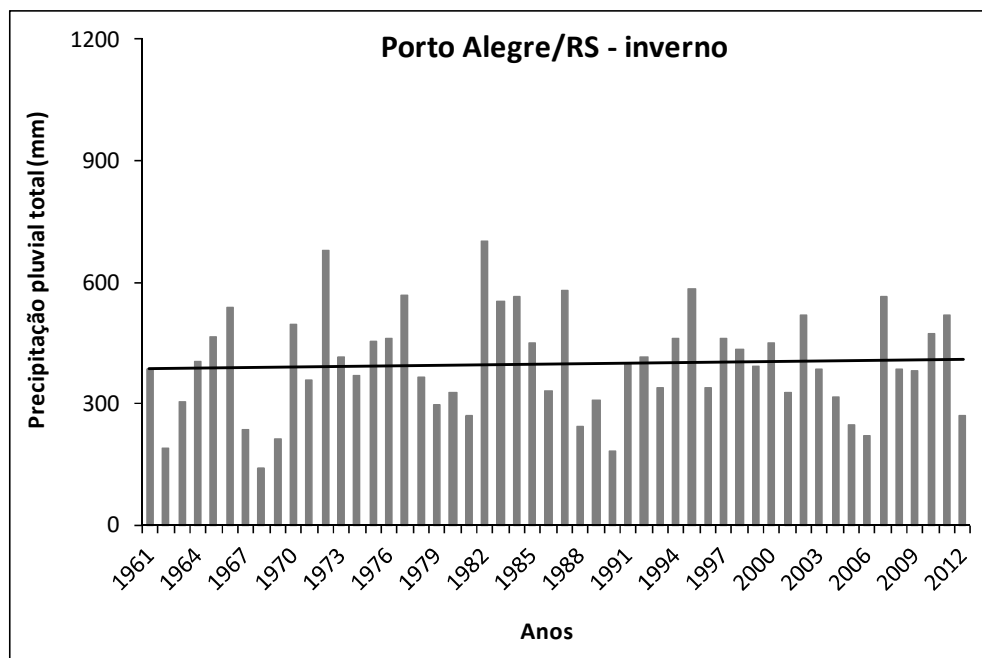
**Figura 71 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



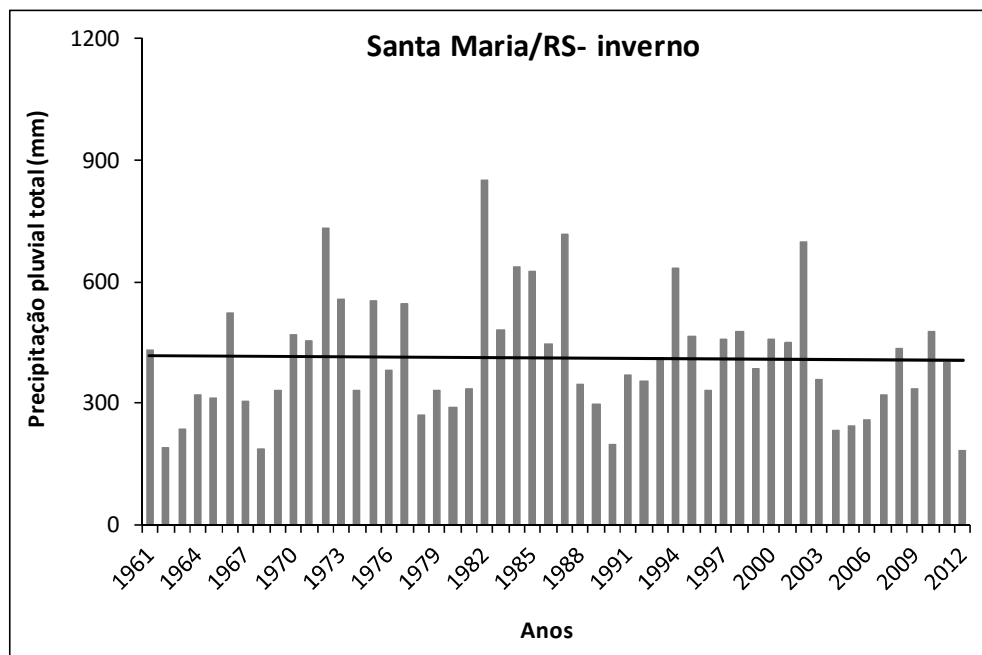
**Figura 72 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



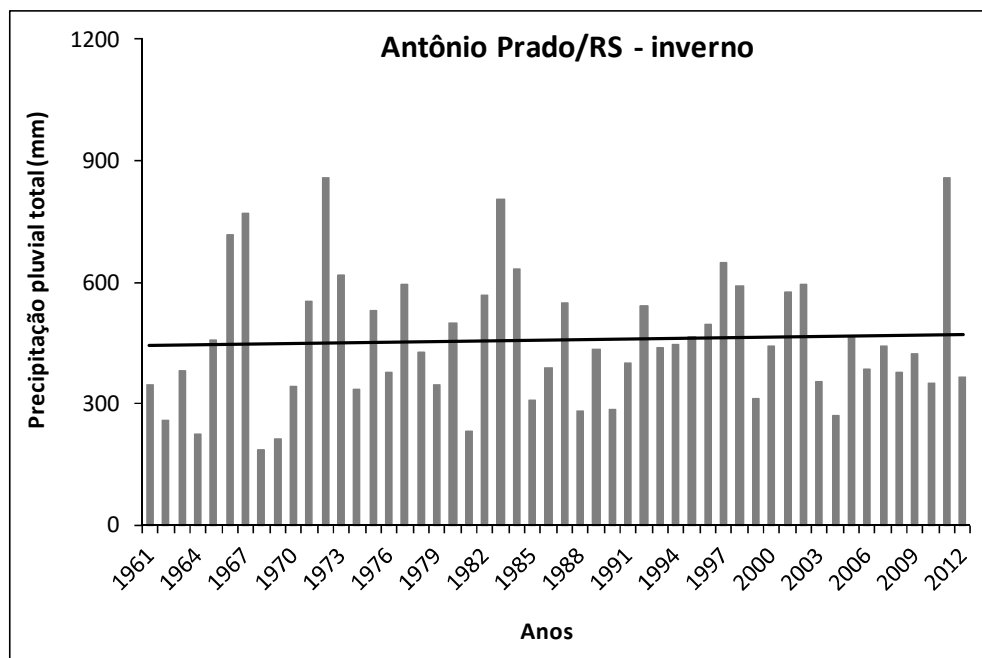
**Figura 73 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



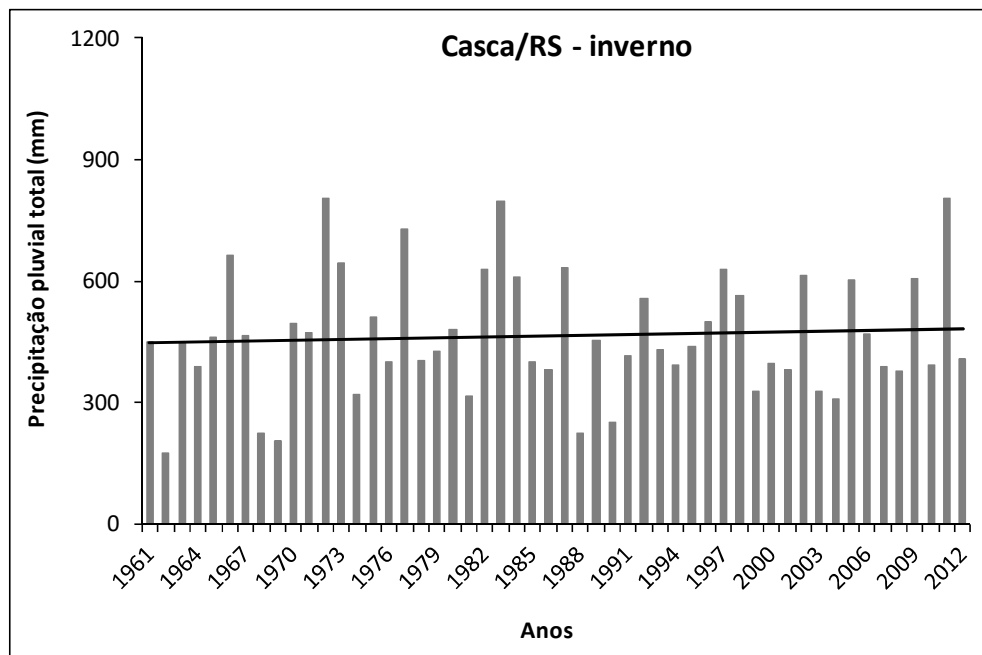
**Figura 74 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



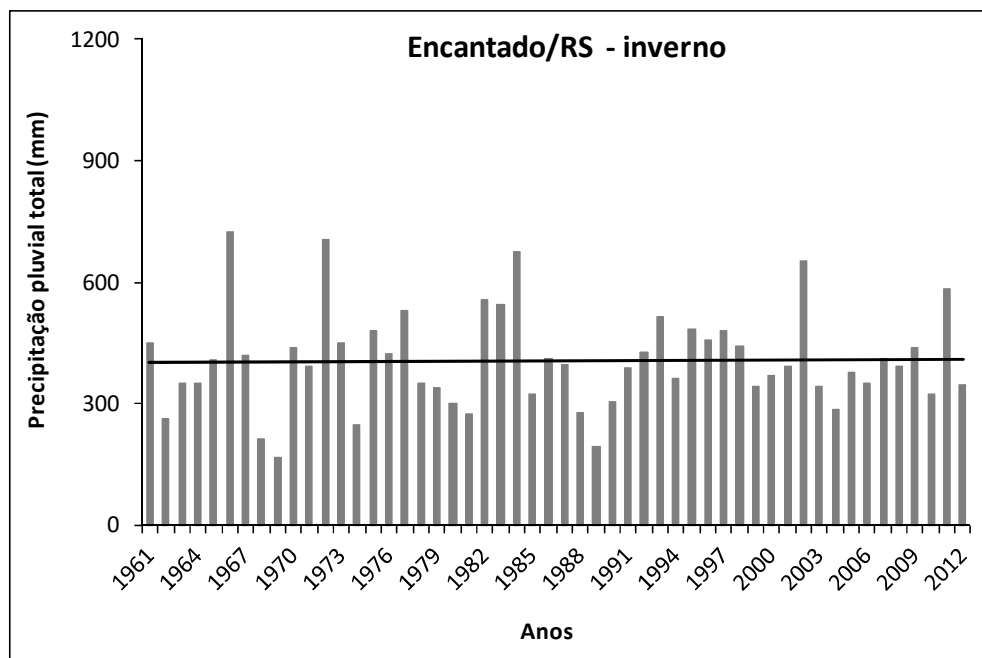
**Figura 75 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



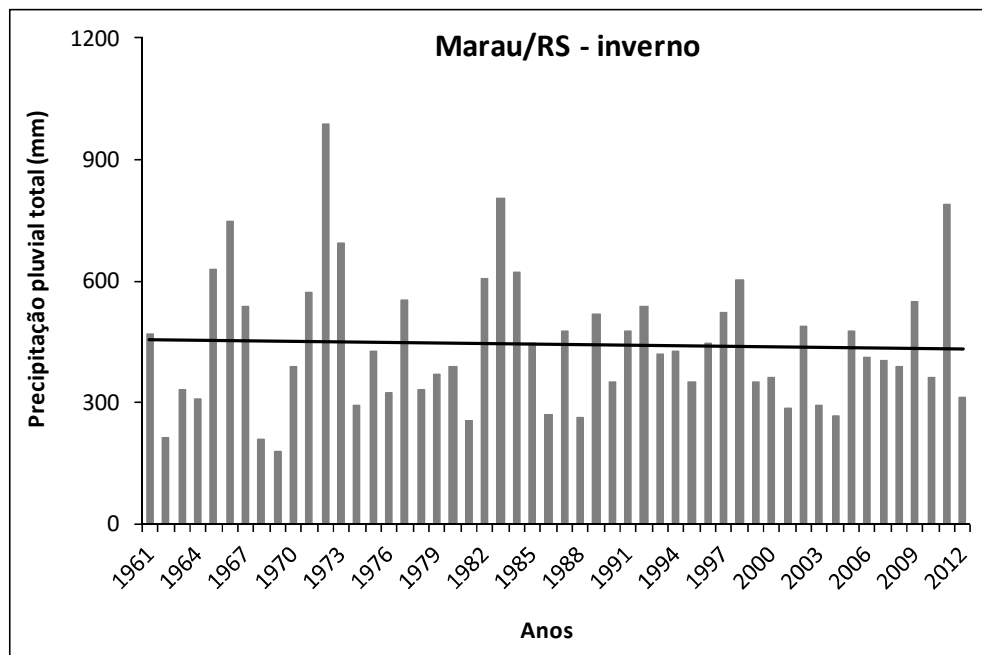
**Figura 76 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



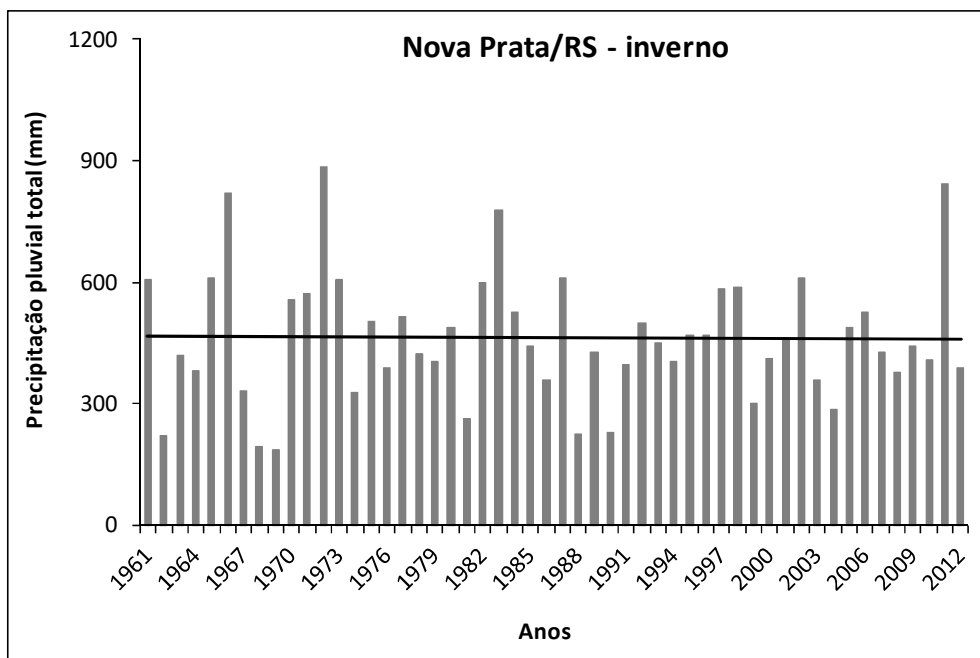
**Figura 77 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



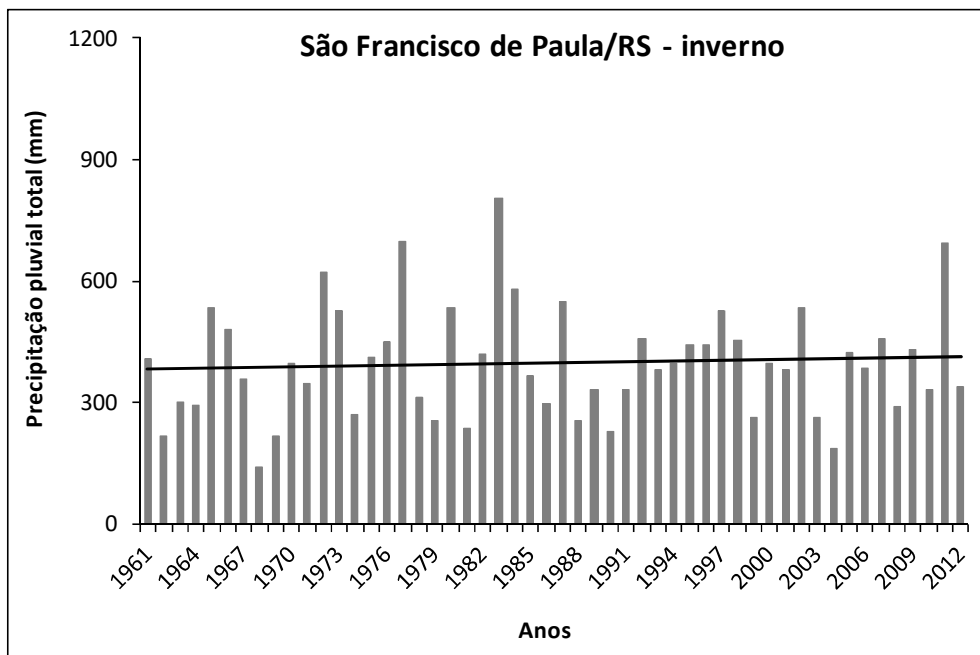
**Figura 78 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



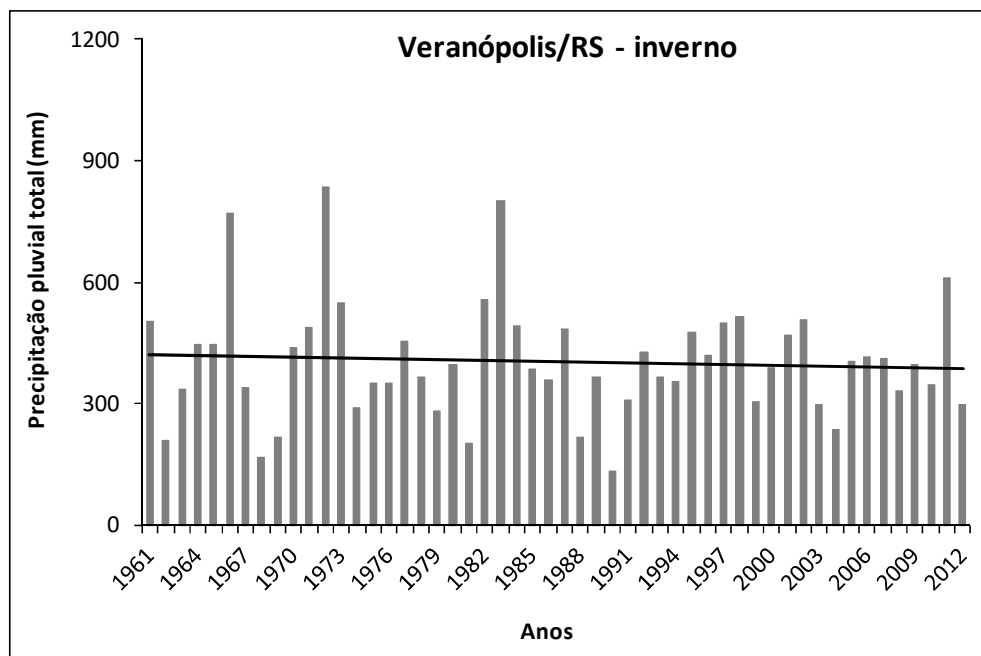
**Figura 79 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 80 - Precipitação pluviométrica total no inverno na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 81 - Precipitação pluvial total no inverno na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



Mais de 50% das estações meteorológicas apresentaram tendência de aumento da precipitação pluvial no inverno, e o restante de redução, no entanto, nenhuma das tendências, foi estatisticamente significativa, no nível de probabilidade adotado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Na primavera a precipitação média do período de 1961 a 2012 foi de 458 mm em Bom Jesus; 493 mm em Caxias do Sul; 537 mm em Cruz Alta; 542 mm em Passo Fundo; 370 mm em Porto Alegre; 455 mm em Santa Maria; 490 mm em Antônio Prado; 522 mm em Casca; 413 mm em Encantado; 515 mm em Marau; 495 mm em Nova Prata; 431 mm em São Francisco de Paula; e 438 mm em Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a 94).

A primavera foi a estação do ano de maior precipitação pluvial nas estações meteorológicas de Caxias do Sul, Cruz Alta, Passo Fundo, Santa Maria, Casca, Encantado, Marau, Nova Prata e Veranópolis. Em Bom Jesus e em São Francisco de Paula a estação do ano mais chuvosa no período analisado foi o verão, em Porto Alegre foi o inverno, e em Antonio Prado a primavera foi tão chuvosa quanto o verão.

**Tabela 8 - Tendências climáticas da precipitação pluvial no inverno, no período de 1961 até 2012.**

Tendências climáticas	Inverno	
	Precipitação pluvial (mm)	52 anos (mm)
Bom Jesus	0,5500	29
Caxias do Sul	-0,1820	-9
Cruz Alta	-0,1337	-7



Passo Fundo	0,4553	24
Porto Alegre	0,4447	23
Santa Maria	-0,2277	-12
Antonio Prado	0,5404	28
Casca	0,6903	36
Encantado	0,1525	8
Marau	-0,4956	-26
Nova Prata	-0,1900	-10
São Francisco de Paula	0,5856	30
Veranópolis	-0,6349	-33

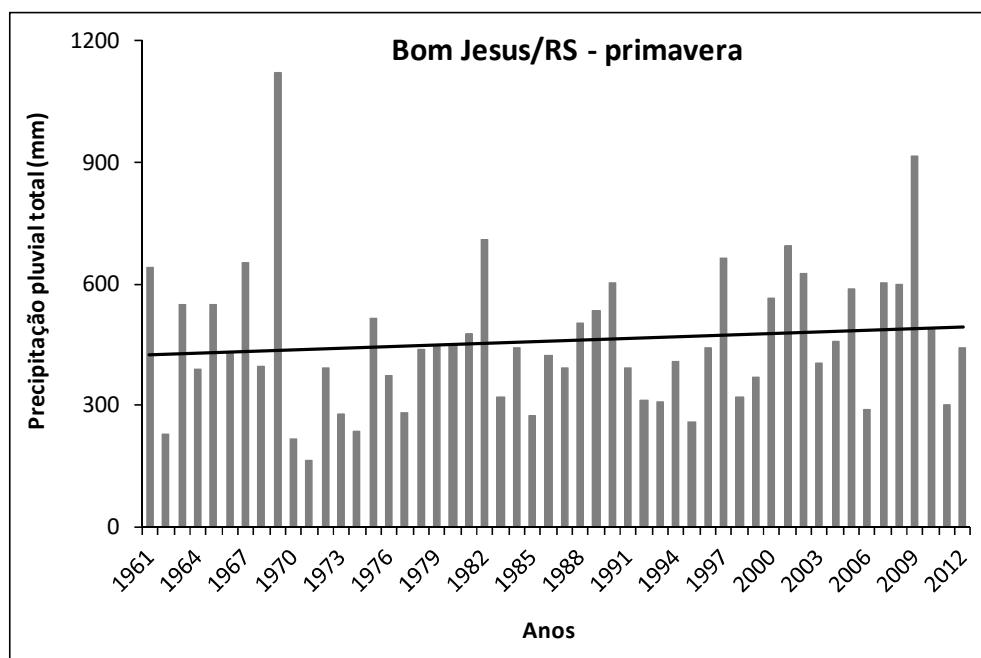
\* Significativo a 10%.

\*\* Significativo a 5%.

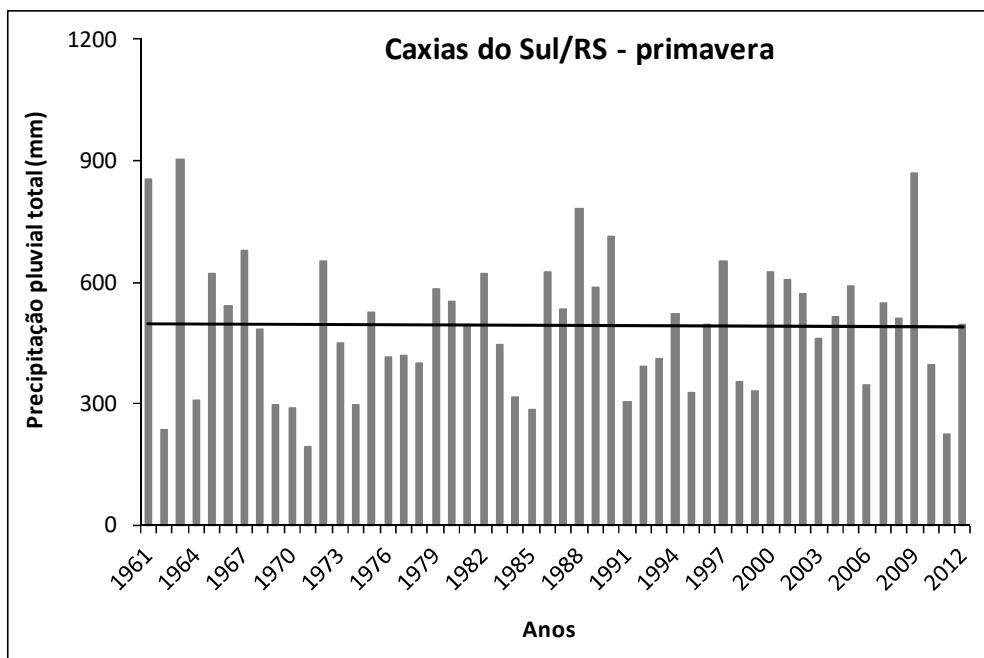
\*\*\* Significativo a 1%.

Demais incrementos não significativos pelo Teste T.

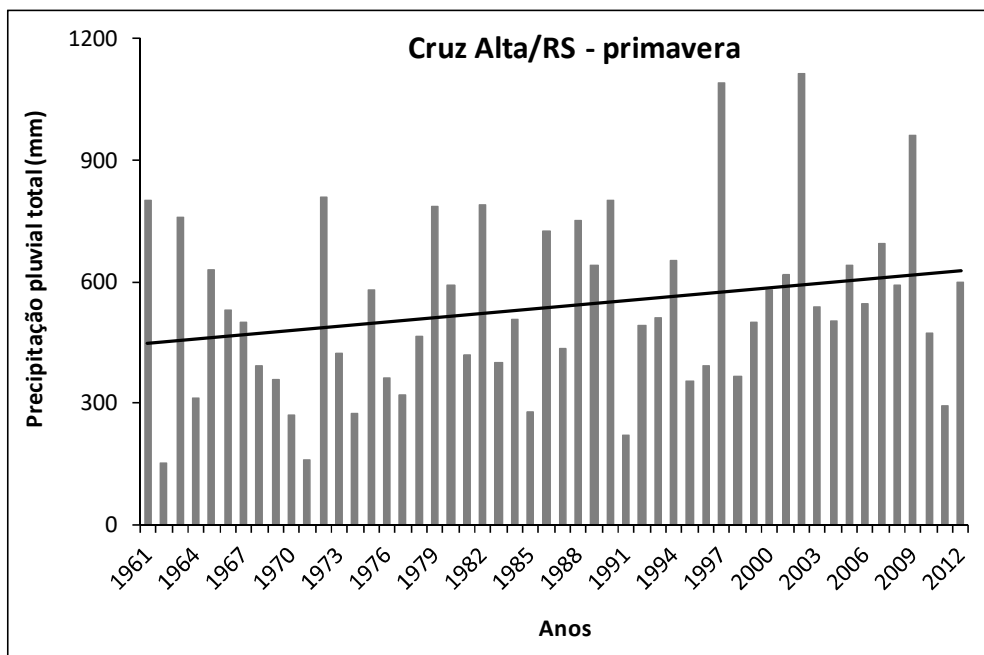
**Figura 82 - Precipitação pluviométrica total na primavera na estação meteorológica de Bom Jesus/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



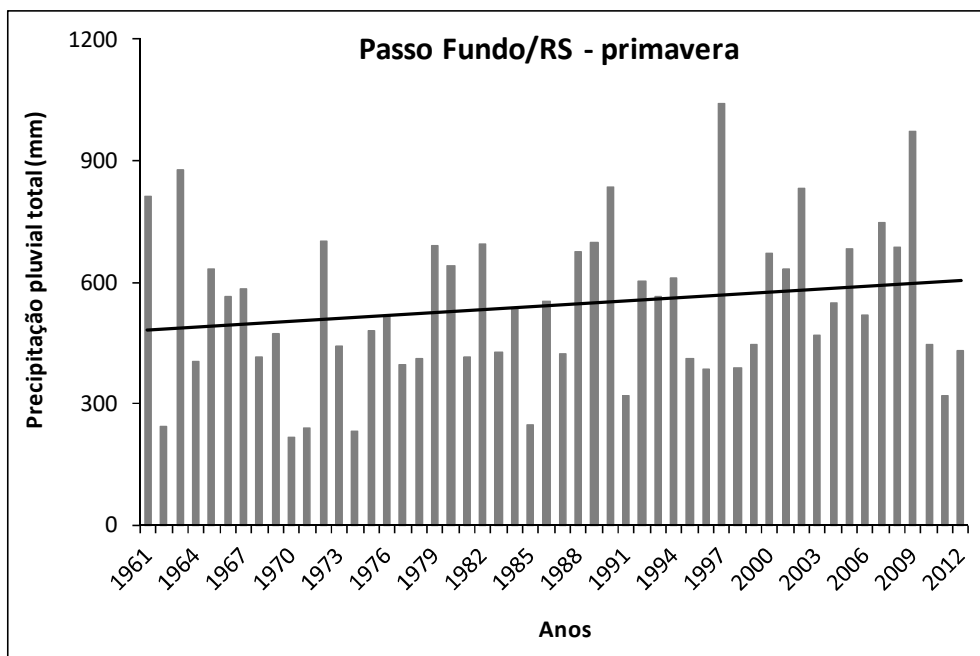
**Figura 83 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Caxias do Sul/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



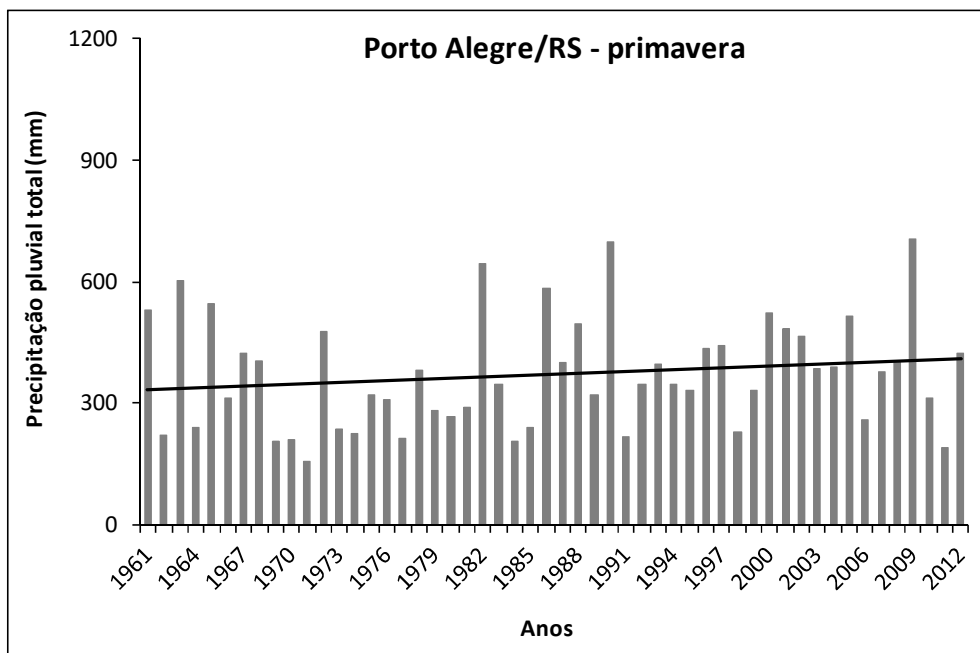
**Figura 84 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Cruz Alta/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



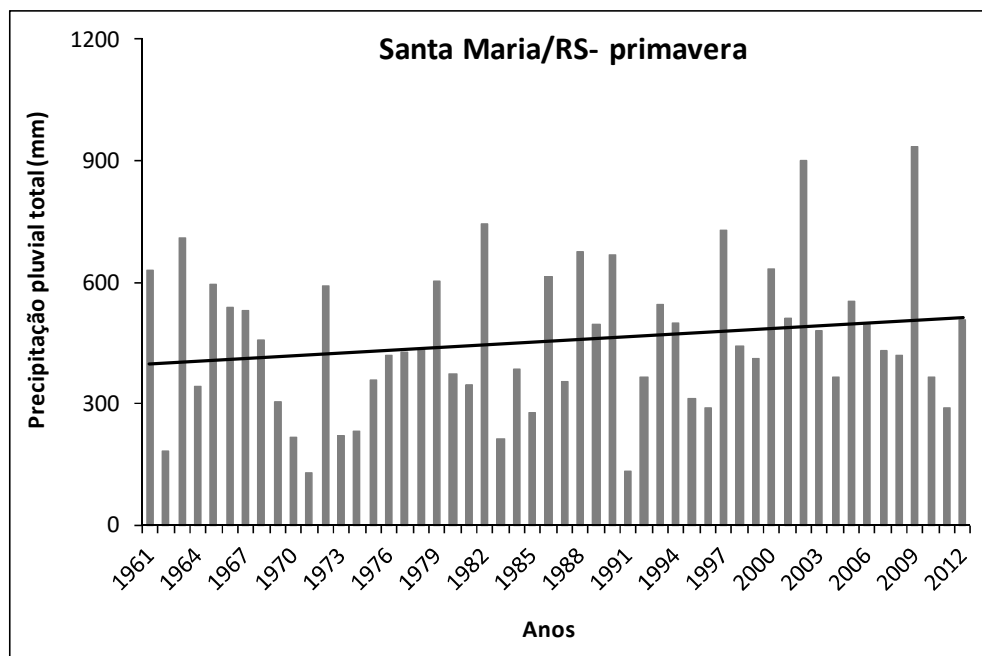
**Figura 85 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Passo Fundo/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



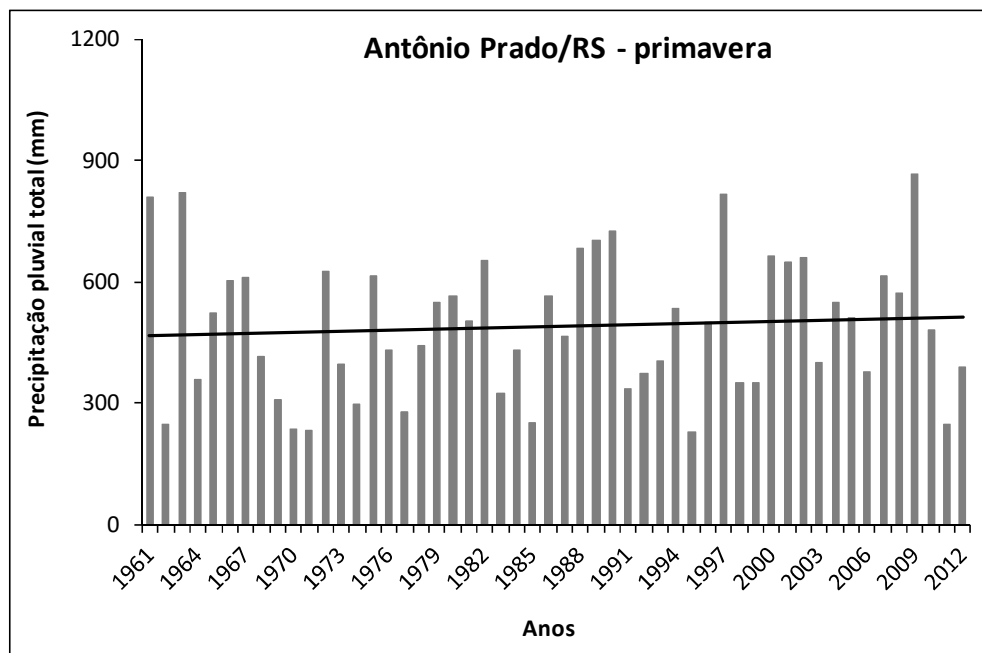
**Figura 86 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Porto Alegre/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



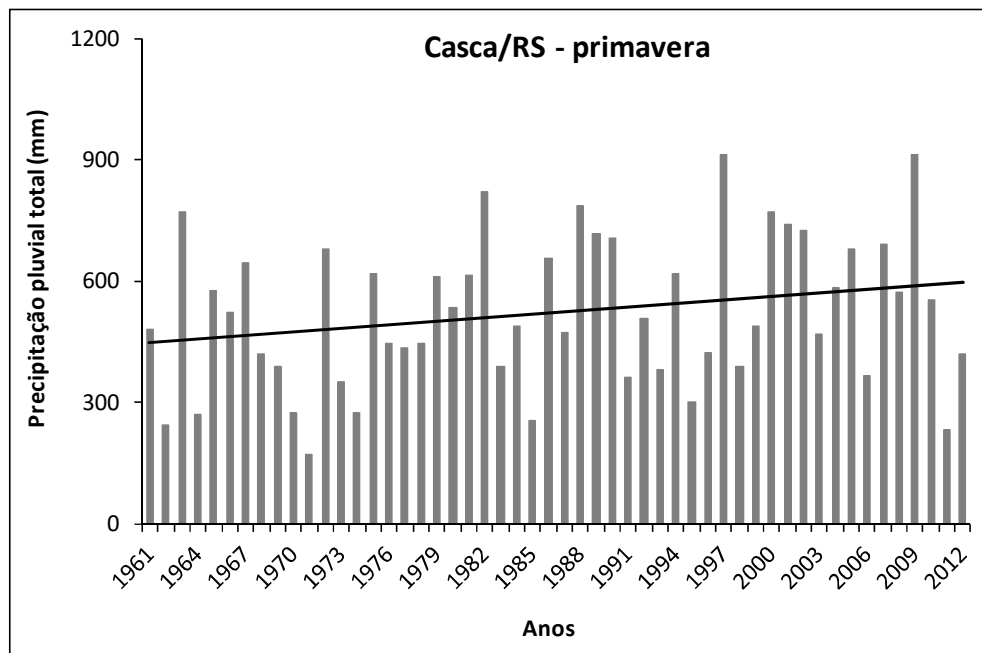
**Figura 87 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Santa Maria/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



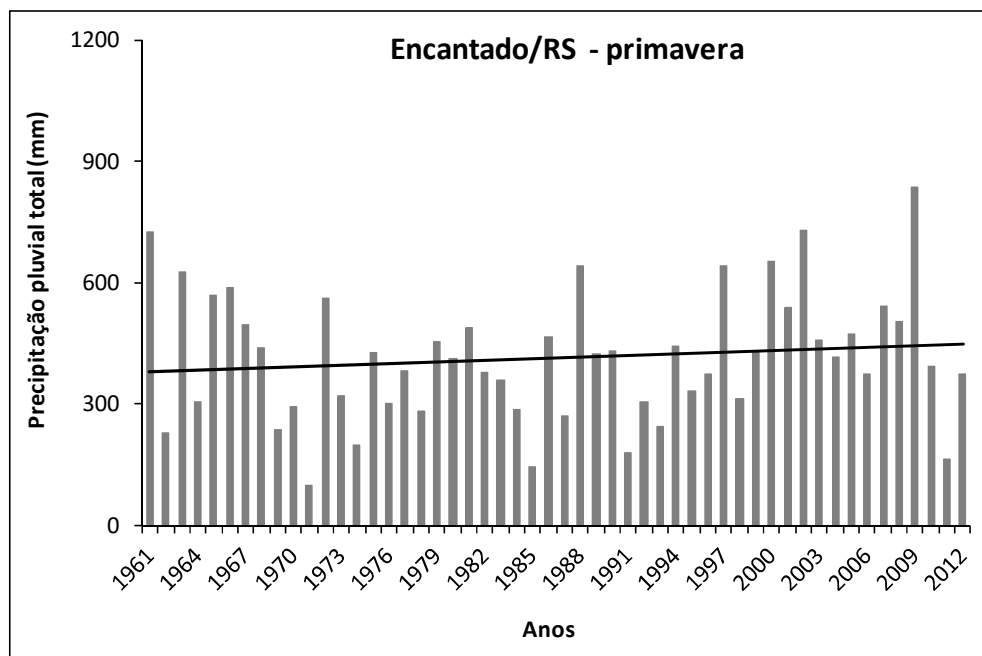
**Figura 88 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Antônio Prado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



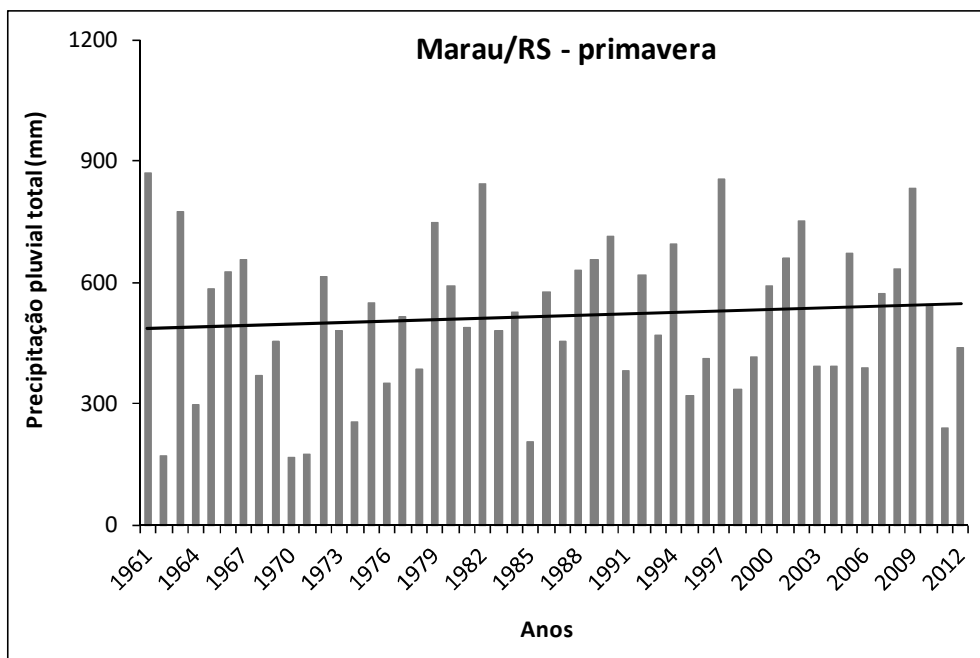
**Figura 89 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Casca/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



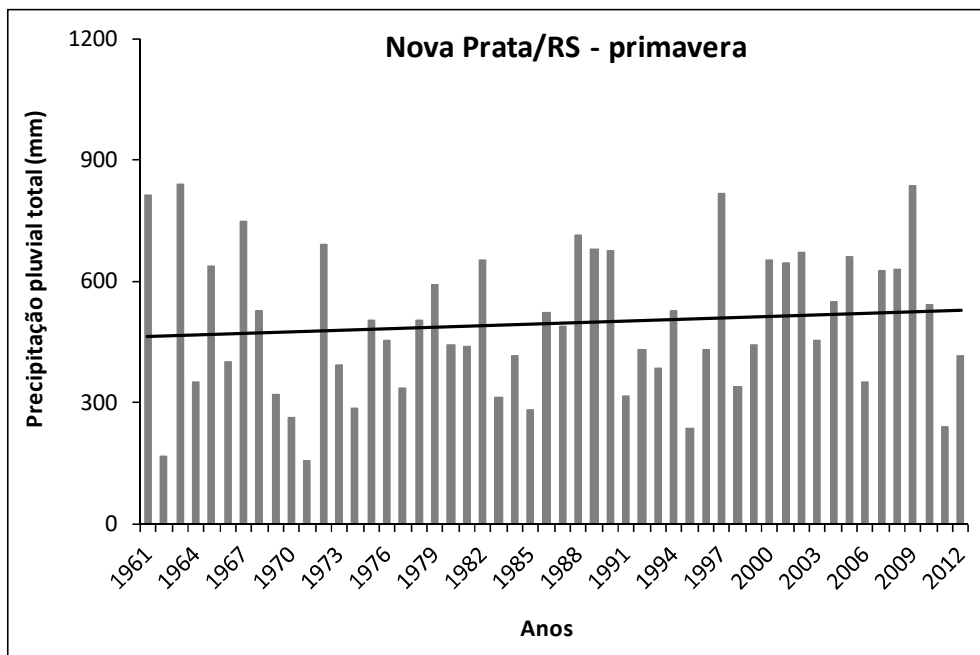
**Figura 90 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Encantado/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



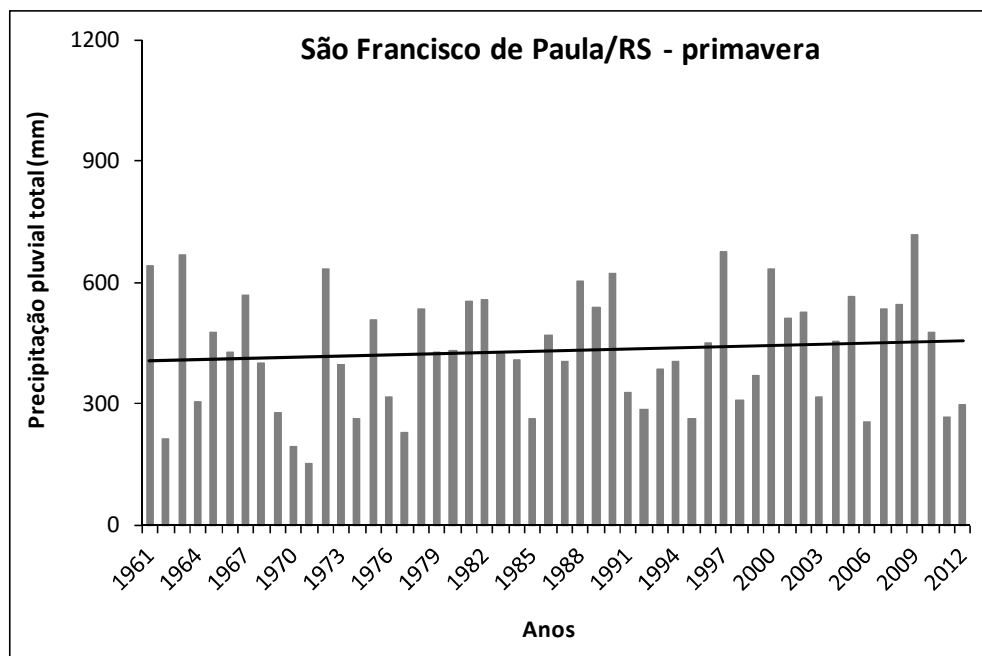
**Figura 91 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Marau/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



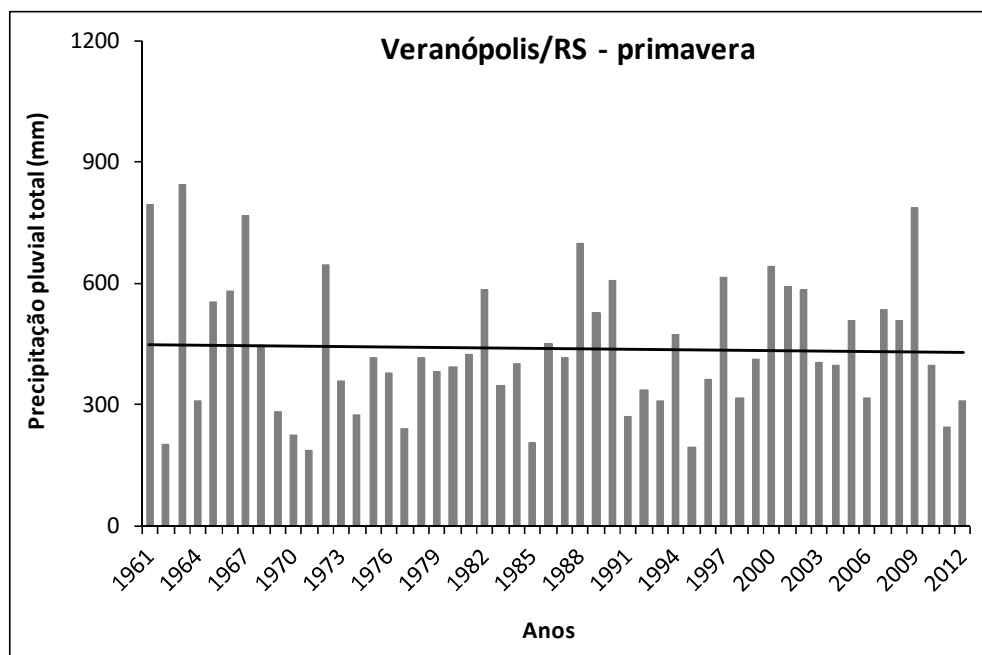
**Figura 92 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Nova Prata/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 93 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de São Francisco de Paula/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



**Figura 94 - Precipitação pluvial total na primavera na estação meteorológica de Veranópolis/RS. Período de 1961 a 2012. Tendência linear representada pela reta preta.**



Na primavera todas as estações apresentaram tendências de aumento da precipitação pluvial, com exceção de Caxias do Sul e Veranópolis. Dessas, Cruz Alta, Passo Fundo, Santa Maria e Casca, apresentaram tendências de aumento, estatisticamente, significativas. Os aumentos na precipitação

pluvial ao ano de 3,6 mm; 2,4 mm; 2,2 mm; e 2,9 mm, nestas estações, respectivamente, em 52 anos representaram um aumento na primavera de 186 mm em Cruz Alta, 125 mm em Passo Fundo, 115 mm em Santa Maria e 153 mm em Casca (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Para os cultivos agrícolas esse aumento da precipitação pluvial em uma época de aumento da demanda evaporativa, provavelmente foi positivo, no entanto nas áreas mais urbanas pode ter resultado em episódios de alagamentos e inundações.

**Tabela 9 - Tendências climáticas da precipitação pluvial na primavera, no período de 1961 até 2012.**

Tendências climáticas Precipitação pluvial (mm)	Primavera	
	$\beta_1$ (mm/ano)	52 anos (mm)
Bom Jesus	1,3403	70
Caxias do Sul	-0,0938	-5
Cruz Alta	3,572**	186
Passo Fundo	2,3945*	125
Porto Alegre	1,4661	76
Santa Maria	2,2140*	115
Antonio Prado	0,8727	45
Casca	2,9451**	153
Encantado	1,2952	67
Marau	1,1862	62
Nova Prata	1,3229	69
São Francisco de Paula	0,9744	51
Veranópolis	-0,3554	-18

\* Significativo a 10%.

\*\* Significativo a 5%.

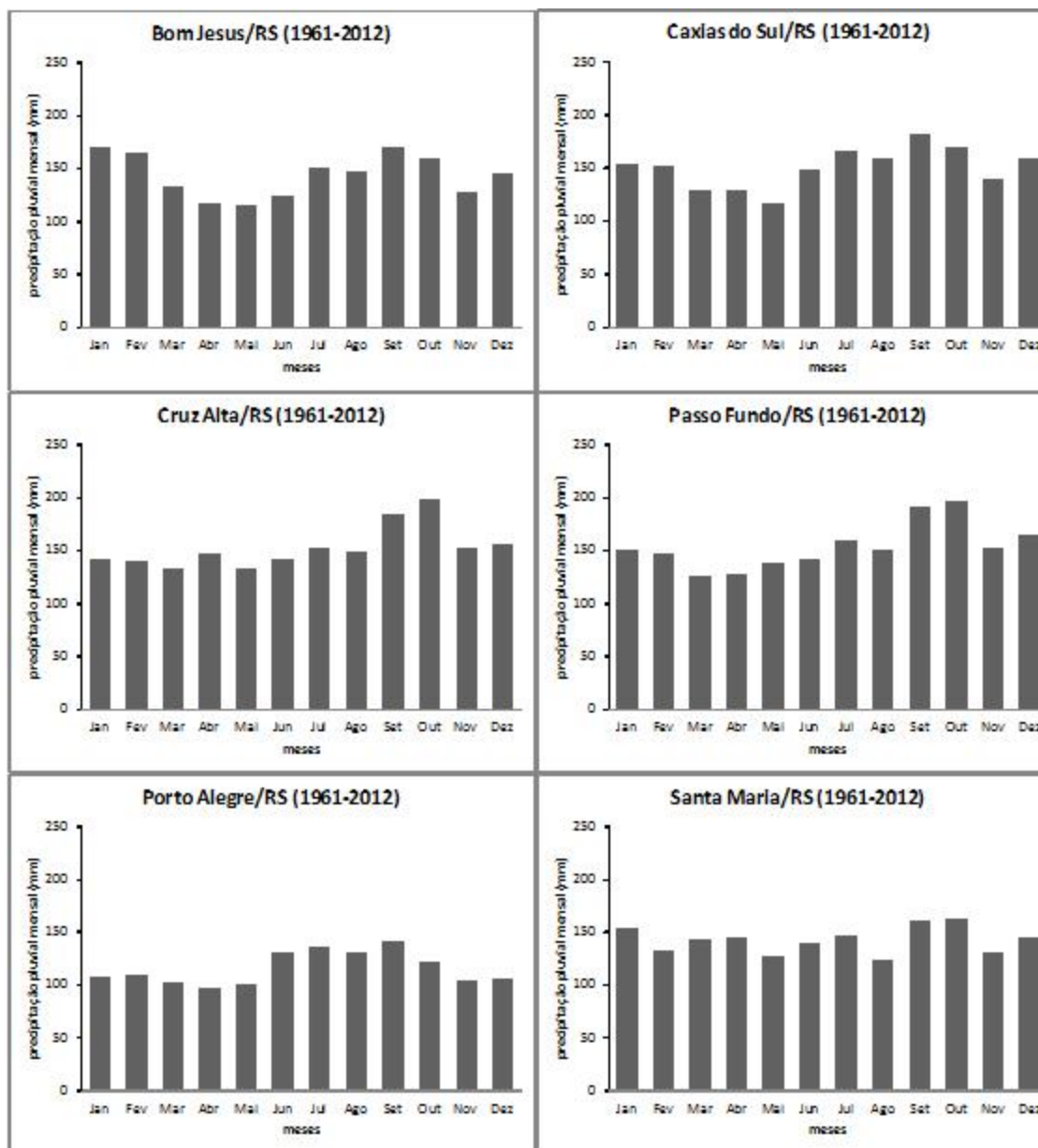
\*\*\* Significativo a 1%.

Demais incrementos não significativos pelo Teste T.

Na análise mensal (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 96) observa-se que a precipitação pluvial mensal média no período estudado, nas estações foi em torno de 150 mm, exceto em Porto Alegre, Encantado, São Francisco de Paula e Veranópolis, onde a precipitação mensal média foi menor, em torno de 116 mm; 123 mm, 133 mm e 132 mm, respectivamente. Em geral, nas estações analisadas a precipitação é maior nos meses de setembro e outubro, e, menor em março, abril e/ou maio.



**Figura 95 - Precipitação pluvial total mensal nas estações meteorológicas do INMET de Bom Jesus; Caxias do Sul; Cruz Alta; Passo Fundo; Porto Alegre; e Santa Maria. Média do período de 1961 a 2012.**



Em Bom Jesus (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), janeiro e setembro foram os meses que registraram os maiores valores de precipitação pluvial (171 mm), seguidos por fevereiro (165 mm) e outubro (159 mm). Abril e maio foram os meses com menor precipitação pluvial mensal nessa estação meteorológica, com 117 e 116 mm, respectivamente. O maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês em Bom Jesus foi de 607 mm em maio de 1970.

Em Caxias do Sul (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) os meses de setembro e outubro foram, climaticamente, os de maiores índices pluviométricos, 183 e 170 mm, respectivamente, enquanto que maio foi o de menor índice (117 mm). Em Caxias do Sul o maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês foi de 450 mm em setembro de 1988.

Na estação meteorológica de Cruz Alta (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), as maiores precipitações pluviométricas mensais foram: 199 mm em outubro e 184 mm em setembro, e as menores, foram: março e maio (132 mm). O maior volume de precipitação pluvial registrado em Cruz Alta, em um mês, foi de 618 mm em outubro de 1997 (El Niño forte).

A análise mensal de Passo Fundo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) indica que, em média de 1961 a 2012, os meses em que mais choveu foram: outubro (197 mm) e setembro (193 mm) e os meses em que menos choveu foram: março (127 mm) e abril (128 mm). Na estação meteorológica de Passo Fundo, assim como em Cruz Alta, o maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês foi em outubro de 1997 (El Niño forte), no total de 550 mm.

Em Porto Alegre (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) o mês com maior média pluviométrica foi setembro (142 mm) e os de menores precipitações pluviométricas foram: março (102 mm), abril (98 mm) e maio (101 mm). O maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês em Porto Alegre foi de 366 mm em junho de 1982 (El Niño forte). Em alguns anos, sob influência do El Niño, se verificam inundações na região do Arquipélago, mas cenas como “a grande enchente de 1941” não se repetiram depois da retificação do Arroio Dilúvio e da construção do muro de contenção na Avenida Mauá.

Em Santa Maria (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), setembro (161 mm) e outubro (163 mm), assim como na maioria das estações analisadas, foram os meses que registraram os maiores valores de precipitação pluvial. Diferente das demais estações, agosto foi o mês de menor precipitação pluvial (média de 1961-2012), com 124 mm, seguido pelo mês de maio com 126 mm. Em um mês o maior volume de precipitação pluvial observado em Santa Maria foi de 481 mm em novembro de 2009 (novamente El Niño).

Em Antônio Prado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), setembro foi o mês que registrou a maior precipitação pluvial (183 mm). Março, abril e maio foram os meses com menor precipitação pluvial mensal, com 124, 119 e 120 mm, respectivamente. O maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês em Antônio Prado foi de 441 mm em setembro de 2009 (El Niño).

Em Casca (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) os meses de setembro e outubro foram, climaticamente, os de maiores índices pluviométricos, 187 e 191 mm, respectivamente, enquanto que

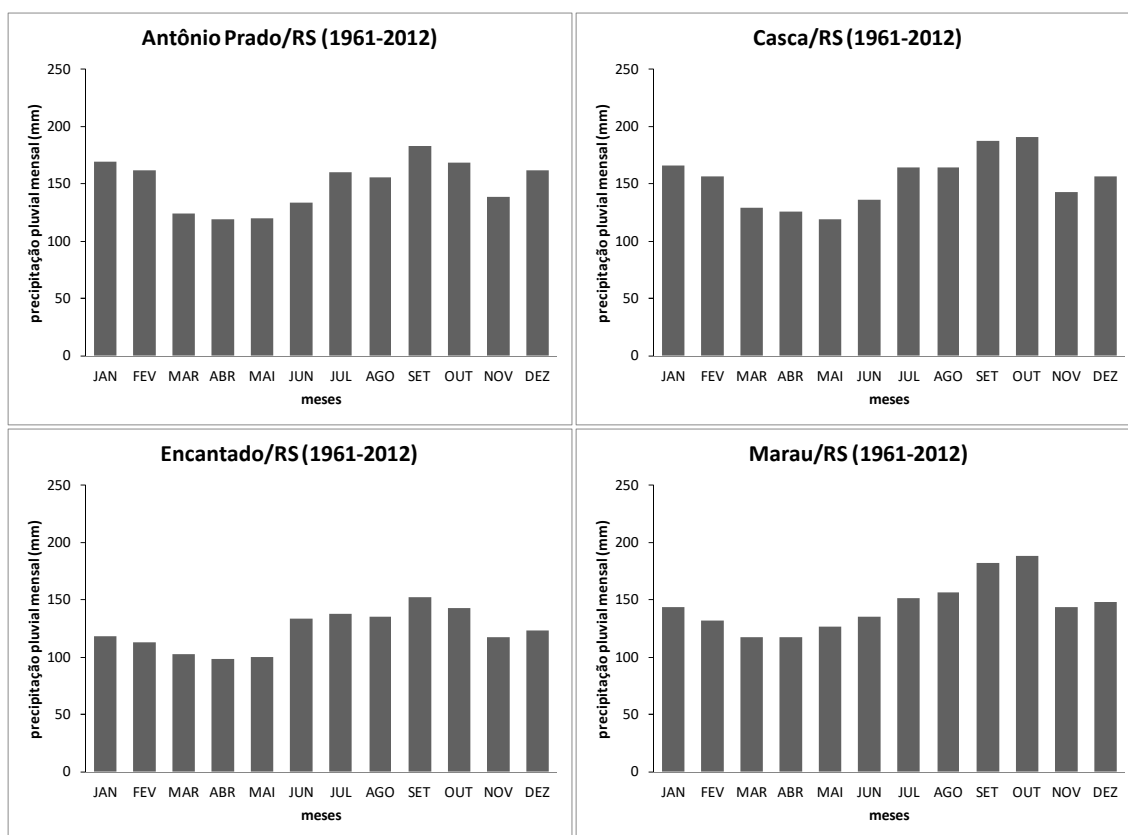
maio foi o de menor índice (119 mm). Em Casca o maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês foi de 545 mm em outubro de 1997 (El Niño forte).

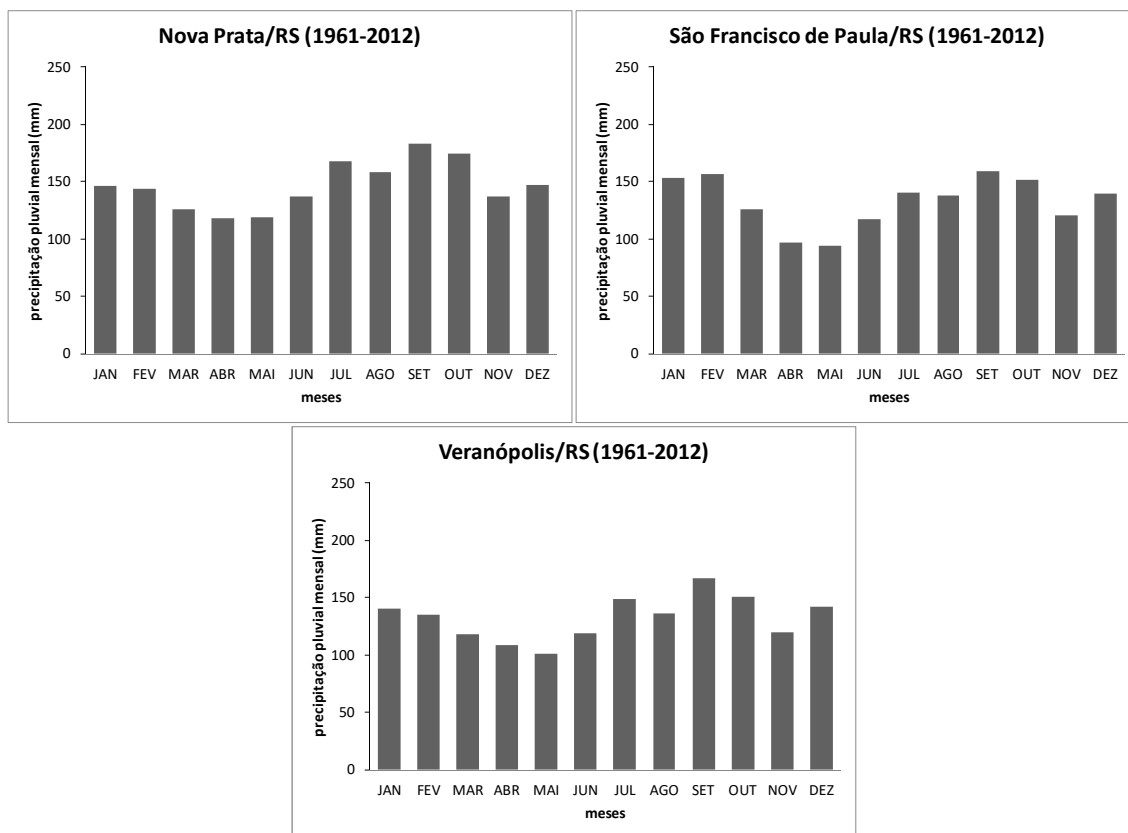
Na estação pluviométrica de Encantado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), as maiores precipitações pluviiais mensais foram: 152 mm em setembro e 143 mm em outubro, e as menores, foram: 102 mm em março, 99 mm em abril e 100 mm em maio. O maior volume de precipitação pluvial registrado em Encantado, em um mês, foi de 382 mm em outubro de 2002 (El Niño forte).

Em Marau (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), em média (1961 a 2012), os meses de maior precipitação pluvial foram: setembro (183 mm) e outubro (188 mm) e os de menor precipitação pluvial: março e abril (117 mm). Assim como em Cruz Alta, Passo Fundo e Casca o maior volume de precipitação pluvial registrado em Marau em um mês foi em outubro de 1997 (El Niño forte), no total de 492 mm.

Em Nova Prata (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) os meses em que mais choveu foram: setembro (183 mm) e outubro (175 mm) e os de menores precipitações pluviiais foram: abril (118 mm) e maio (119 mm). O maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês em Nova Prata foi de 463 mm em agosto de 1965 (El Niño forte).

**Figura 96 - Precipitação pluvial total mensal nas estações da ANA de Antônio Prado; Casca; Encantado; Marau; Nova Prata; São Francisco de Paula e Veranópolis. Média do período de 1961 a 2012.**





Em São Francisco de Paula (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), setembro foi o mês que registrou a maior precipitação pluvial (159 mm). Abril e maio foram os meses com menor precipitação pluvial mensal, com 97 e 94 mm, respectivamente. O maior volume de precipitação pluvial registrado em um mês em São Francisco de Paula foi de 481 mm em julho de 1983 (pós El Niño longo).

Na estação pluviométrica de Veranópolis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a maior precipitação pluvial mensal foi 167 mm em setembro, e a menor, foi 101 mm em maio. O maior volume de precipitação pluvial registrado em Veranópolis, em um mês, foi de 516 mm em setembro de 1967.

O regime de precipitação da região da bacia do Rio Taquari-Antas, assim como ocorre em todo o Rio Grande do Sul, apresenta como característica climática precipitação pluvial, bem distribuída ao longo do ano. A precipitação pluvial média, em janeiro, de 170 mm em Antônio Prado, 171 mm em Bom Jesus, 166 mm em Casca, 118 mm em Encantado, 109 mm em Porto Alegre e em torno de 150 mm nas demais estações, diminui nos meses de outono, aumenta nos meses de inverno (com discreta redução em agosto), atingindo o pico nos meses de primavera (setembro e outubro), após leve redução em novembro a precipitação pluvial aumenta novamente nos meses de verão (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 96).

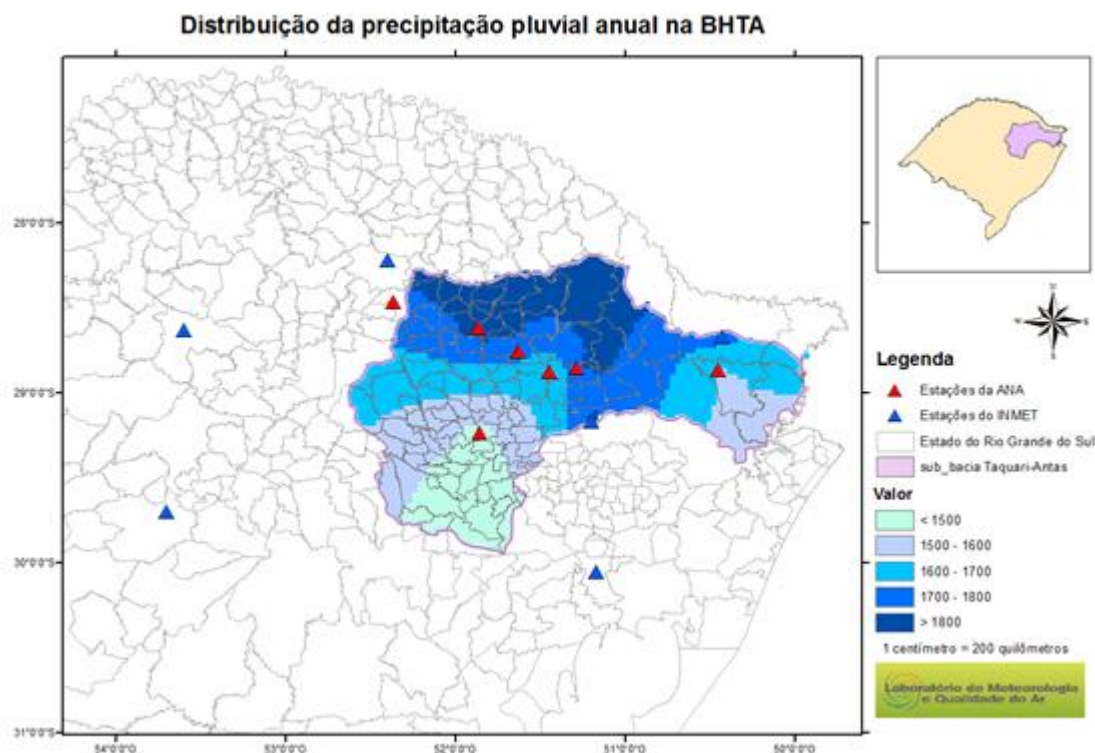
Observa-se na Figura 97 a distribuição da precipitação pluvial anual na BHTA, média no período de 1961 até 2012. Nas porções sudoeste e sudeste da bacia, concentram-se as menores precipitações pluviárias anuais, com valores inferiores a 1.700 mm. Já as maiores precipitações pluviárias anuais, superiores a 1.800 mm, concentram-se na porção norte-noroeste da BHTA.

O verão (Figura 98) apresenta padrão semelhante de distribuição da precipitação pluvial anual na BHTA, porém, com valores inferiores a 450 mm nas porções sudoeste e sudeste da bacia, e valores superiores a este na porção norte-noroeste-sudeste da bacia.

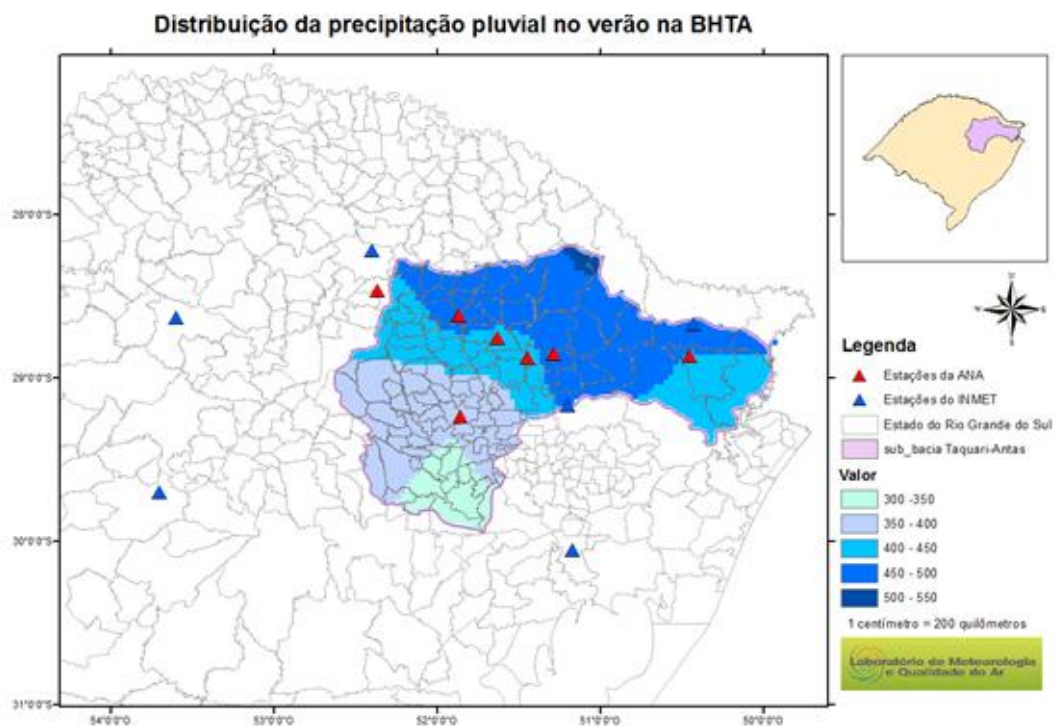
O outono e o inverno são as estações do ano de menor variabilidade espacial da distribuição da precipitação pluvial, com uma isoietas de 350 mm no outono e 450 mm no inverno separando essas mesmas porções, com os menores valores encontrados, também, na porção sudoeste e sudeste (Figuras 99 e 100).

A primavera apresenta uma alta variabilidade da distribuição da precipitação pluvial, assim como o verão. Os maiores valores de precipitação pluvial, acima de 500 mm, ocupam uma área bem maior do que no verão, abrangendo toda porção noroeste da bacia. As precipitações pluviárias nas porções sudoeste e sudeste da BHTA são abaixo de 450 mm (Figura 101).

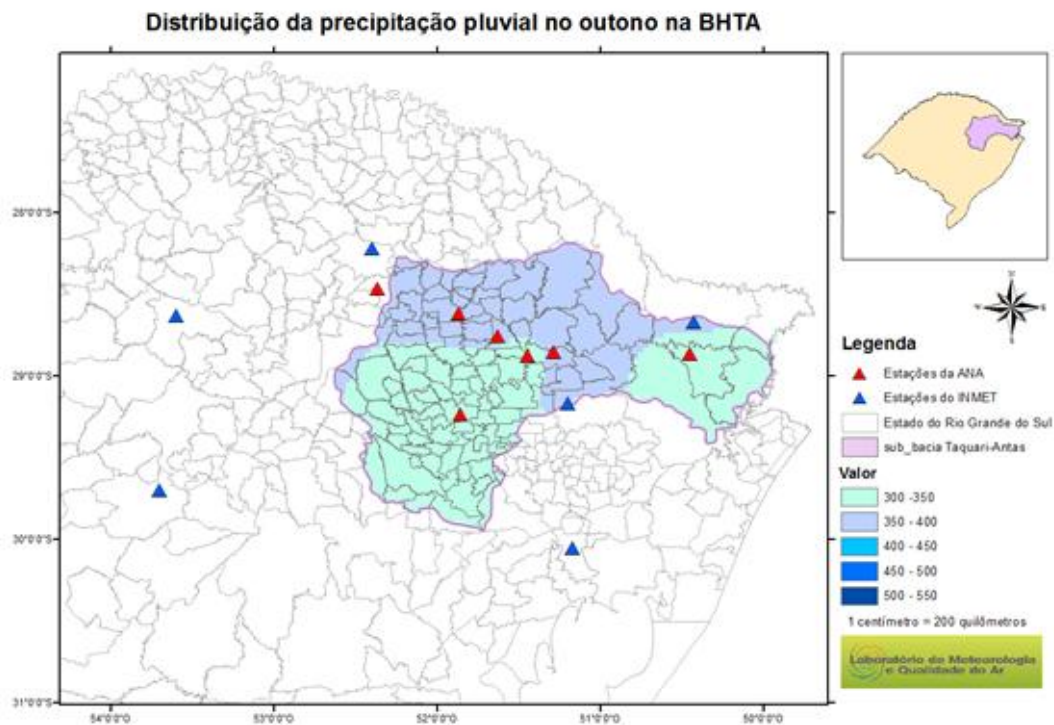
**Figura 97 - Distribuição da precipitação pluvial anual (mm) na BHTA. Período de 1961-2012.**



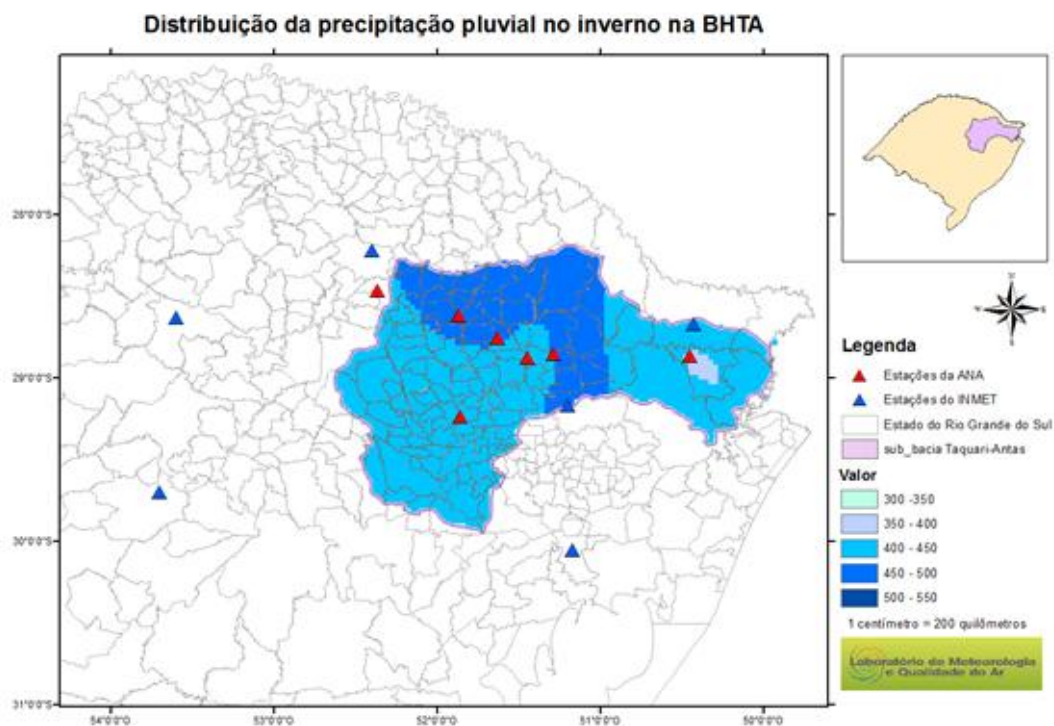
**Figura 98 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no verão na BHTA. Período de 1961-2012.**



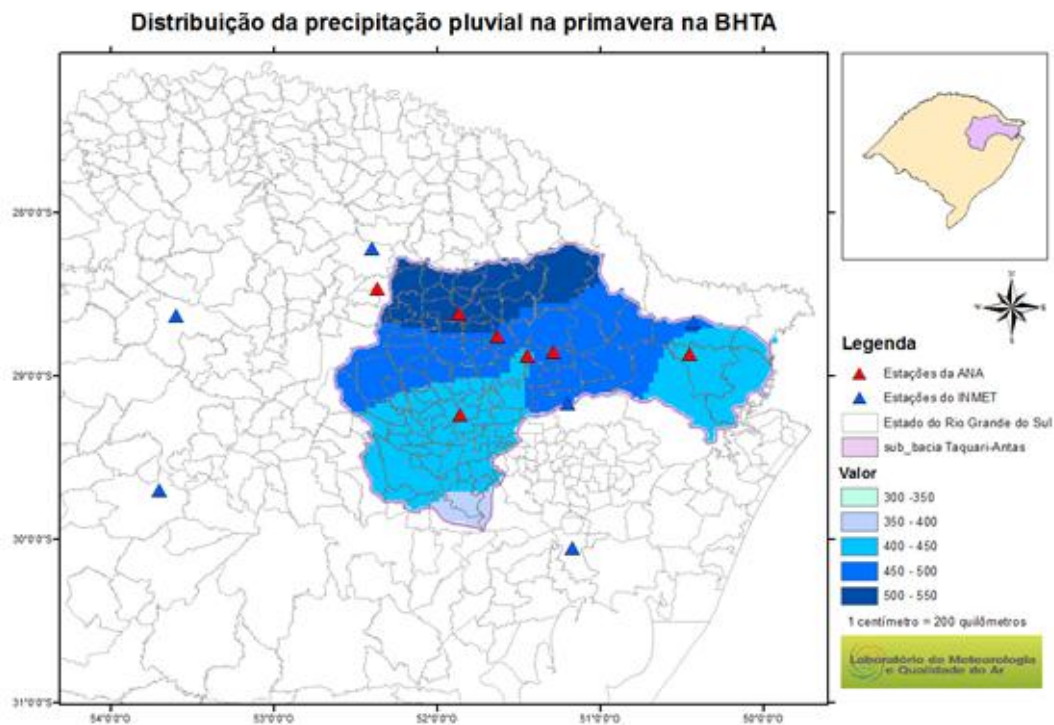
**Figura 99 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no outono na BHTA. Período de 1961-2012.**



**Figura 100 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) no inverno na BHTA. Período de 1961-2012.**



**Figura 101 - Distribuição da precipitação pluvial (mm) na primavera na BHTA. Período de 1961-2012.**



## 5. CONCLUSÕES

O entendimento da relação de sistemas atmosféricos e dos processos associados aos eventos meteorológicos com os desastres naturais é fundamental para auxiliar o poder público na elaboração de medidas preventivas, planejamento de ações futuras e gestão dos territórios.

As previsões destes fenômenos são de grande importância para a sociedade em geral, tendo em vista o enorme potencial de danos que podem causar às atividades humanas. Para que possam ser estabelecidas estratégias que minimizem os possíveis danos pelos órgãos tomadores de decisão, o estudo das condições meteorológicas favoráveis à formação desses fenômenos bem como a previsão de curto prazo se tornam indispensáveis.

Neste contexto, o projeto teve como objetivo estudar os padrões associados entre os eventos meteorológicos extremos que atingiram o Estado do Rio Grande do Sul e sua teleconexão com os eventos extremos de precipitação ocorridos na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, buscando conhecer as características espaço-temporais desses eventos, que causam danos socioeconômicos à sociedade.

É necessário considerar, também, a intensidade do ENOS na mitigação de desastres, pois ele afeta o regime de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, especialmente em casos de El Niño, em que estão associadas precipitações pluviais acima da média no Estado. Além disso, eventos extremos causados por precipitações pluviométricas intensas (quantidade elevada de precipitação em pouco tempo) ou de baixa intensidade por longos períodos podem causar grandes inundações e deslizamentos de terra. Nesse contexto, previsões de tempo de fenômenos meteorológicos extremos, como os que ocorrem associados aos ENOS permitem planejar estratégias de mitigação de desastres. Prever esse fenômeno pode fomentar ações eficazes de prevenção e mitigação dos efeitos adversos destes extremos, com diminuição de perdas de vidas e materiais e proteção ambiental.

A relação entre os eventos ENOS e as inundações ocorre principalmente durante a fase forte, especialmente durante os anos sob a influência de El Niño. Isto devido aos anos de El Niño apresentarem casos de inundações, principalmente, caracterizados como “grandes” e “extremos”. Além disto, mesmo os anos neutros apresentando maior número de inundações, decorrente do maior número de anos sob esta influência, a diferença destas com as ocorridas durante o El Niño é pequena (de apenas 10%).

A ocorrência eventual de desastres está diretamente relacionada aos altos índices de precipitação em excesso, causando as inundações que ainda podem ser agravadas por outros fenômenos como ventos fortes, granizo, entre outros.



A previsão dos valores acumulados de precipitação é, ainda, um dos maiores desafios da meteorologia, devido à complexidade dos processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na atmosfera em diferentes escalas de tempo e espaço.

**Sugestão de medida não estrutural para mitigação dos prejuízos em decorrência de eventos extremos na BHTA:**

Salienta-se que os sistemas de alertas meteorológicos precisam ser implementados e operacionalizados como principal ferramenta no combate a danos humanos e físicos, em que o aperfeiçoamento de meios e métodos das previsões é de suma importância para o sucesso dessa operação e a proteção de vidas humanas e bens materiais. O fato de eventos extremos serem relativamente raros não implica dar menos atenção ao estudo desses sistemas e ao treinamento de pessoal operacional visando a sua previsão. Identificar, com antecedência de várias horas, condições favoráveis à formação de sistemas convectivos severos é essencial para a veiculação adequada de alertas e para antecipar a adoção de estratégias que eliminem ou minimizem o impacto negativo desses fenômenos meteorológicos na região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

A realização de previsões, em conjunto com informações complementares, como imagens de radar e satélites, ajuda na acurácia e na antecipação do alerta de inundações. O estudo da gênese de tempestades severas é um ramo da Meteorologia extremamente importante quando se trata de alerta de chuvas intensas. As condições de ambientes instáveis que geram células convectivas severas são de difícil previsibilidade, visto que o desenvolvimento e dissipação dessas células ocorrem muitas vezes num espaço de tempo menor que duas horas. Chuvas intensas, ventos fortes, trovoadas e granizo são originados de nuvens de convecção profunda, os chamados cumulonimbus (Cb). A intensidade desses fenômenos é influenciada tanto pela topografia como pelas demais condições da atmosfera adjacente ao desenvolvimento da célula convectiva, que desempenham um importante papel na distribuição da precipitação.

Estudos estatísticos e sinóticos dos eventos extremos são importantes para aumentar a destreza da previsão de tempo. Previsões confiáveis dos casos extremos servem para alertar a população e permitir medidas de defesa contra os efeitos adversos causados por essas situações.

Para isso deve-se criar no Estado do Rio Grande do Sul um sistema de monitoramento das chuvas, realizado através de estações pluviométricas automáticas, instaladas nas regiões dos municípios mais suscetíveis a desastres, a fim de transmitir dados em tempo real a cada 15 minutos. As estações seriam instaladas com o objetivo de prever inundações, enxurradas, alagamentos e deslizamentos de encostas.

Inicialmente, esse sistema seria criado para alertar a população e os órgãos municipais sobre a possibilidade de alagamentos em áreas de risco, através das informações dos acumulados de precipitação (dos pluviômetros) e dos níveis cota dos rios. O monitoramento seria ininterrupto e realizado por profissionais de meteorologia, como já é realizado em outros estados brasileiros.

Reiteramos a necessidade de consolidar e integrar as atividades hidrometeorológicas de monitoramento, modelagem e previsão de tempo para a região da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. É essencial articular e aperfeiçoar a obtenção de dados básicos, a partir de redes de estações convencionais, integrados com tecnologias de sensoriamento remoto e modelagem numérica.

Os prejuízos, materiais e humanos, associados à ocorrência de chuvas intensas, poderão ser minimizados quando esses fenômenos extremos forem previstos com ferramentas de fácil aplicação na rotina e operação dos centros meteorológicos.

## REFERÊNCIAS

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.ANA.GOV.BR](http://www.ana.gov.br)>. ACESSO EM: 05 FEV. 2014.
- ARAÚJO, L. C. DE. MEMÓRIA SOBRE O CLIMA DO RIO GRANDE DO SUL. RIO DE JANEIRO : DIRECTORIA DE METEOROLOGIA, 1930. 100P.
- BARBIERI, W. D.; MARCELINO, O. V. P. I.; SAUSEN, T. M. ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL: ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA. SANTA MARIA : CRS/INPE, 2008. 13P. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.INPE.BR/CRS](http://www.inpe.br/crs)>. ACESSO EM 03 ABR. 2014.
- BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E. DE S.. CONTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA PARA O ESTUDO DAS INUNDAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAQUARI-ANTAS, RS. GEOGRAFIAS, P. 69-86, 2010.
- CASTRO, A. L. C. MANUAL DE DESASTRES: DESASTRES NATURAIS. BRASÍLIA : MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2003. 174 P.
- CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.CPTEC.INPE.BR](http://www.cptec.inpe.br)>. ACESSO EM: 09 JAN. 2014.
- DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.DEFESACIVIL.RS.GOV.BR/](http://www.defesacivil.rs.gov.br/)>. ACESSO EM: 10 JAN. 2014.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.FEPAM.RS.GOV.BR/QUALIDADE/QUALIDADE\\_TAQUARI\\_ANTAS/TAQUARIANTAS.ASP](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp)>. ACESSO EM: 06 ABR. 2014.
- FERRI, G. A. HISTÓRIA DO RIO TAQUARI – ANTAS. ENCANTADO : GRAFEN, 1991.
- GRIMM, M. A.; FEUSSER, R. V. RELAÇÕES ENTRE TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR SOBRE O OCEANO ATLÂNTICO E A PRECIPITAÇÃO NO SUL E SUDESTE DO BRASIL. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, FLORIANÓPOLIS. ANAIS...FLORIANÓPOLIS: SBMET, 2006. 1 CD-ROM.
- GRIMM, M. A.; BARROS, R. V.; DOYLE, E. M. CLIMATE VARIABILITY IN SOUTHERN SOUTH AMERICA ASSOCIATED WITH EL NIÑO AND LA NIÑA EVENTS. AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, BOSTON, V. 13, P. 35-58, 2000.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.INMET.GOV.BR](http://www.inmet.gov.br)>. ACESSO EM: 09 JAN. 2014.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. SPECIAL REPORT ON EMISSION SCENARIOS. VIENNA, 2000.

MUDANÇA DO CLIMA 2007: IMPACTOS, ADAPTAÇÃO E VULNERABILIDADE À MUDANÇA DO CLIMA. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.CPTEC.INPE.BR/MUDANCAS\\_CLIMATICAS/](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/)>. ACESSO EM: 09 JUN. 2014.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.& RUDORFF, F.M. PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS: CONCEITOS BÁSICOS. CURITIBA : ORGANIC TRADING, 2006. 109 P.

PLANO DE BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS, 2012. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.TAQUARIANTAS.COM.BR/SITE/HOME/PAGINA/ID/35](http://www.taquariantas.com.br/site/home/pagina/id/35)>. ACESSO EM: 25 MAR. 2014.

ROSSATO, M. S. OS CLIMAS DO RIO GRANDE DO SUL: VARIABILIDADE, TENDÊNCIAS E TIPOLOGIA. 2011. 240F. TESE (DOUTORADO), PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, PORTO ALEGRE, 2011.

SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.SEMA.RS.GOV.BR](http://www.sema.rs.gov.br)>. ACESSO EM 11 FEV. 2014.

SILVA, R. J. ANÁLISE CLIMÁTICA PONTUAL DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO SUL. 2013. 127F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO), PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, PELOTAS, 2013.

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. ASSOCIAÇÃO DA VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM SANTA MARIA COM A OSCILAÇÃO DECADAL DO PACÍFICO. PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, BRASÍLIA, v. 44, n. 12, p.1553-1561, 2009.

VEYRET, Y. OS RISCOS: O HOMEM COMO AGRESSOR E VÍTIMA DO MEIO AMBIENTE. TRADUÇÃO: DÍLSON FERREIRA DA CRUZ. SÃO PAULO: CONTEXTO, 2007.