

ENCHENTES NO RIO GRANDE DO SUL DO SÉCULO XXI

the floods in Rio Grande do Sul during 21th century

Cássio Arthur Wollmann *

Resumo

No Rio Grande do Sul, as enchentes constituem-se em fenômenos naturais já conhecidos pela população, em especial, aquelas que habitam os vales dos principais rios sul-rio-grandenses. O objetivo geral desta pesquisa consistiu em identificar as correntes perturbadas e os tipos de tempo responsáveis pela gênese das enchentes nas três Regiões Hidrográficas do Estado entre os anos de 2000 e 2011. Aplicou-se metodologia baseando-se no Ritmo Climático. Nesse sentido, observou-se que a maior parte das enchentes ocorreu em função de ciclos climáticos nos quais havia a participação da Frente Estacionária e Ciclogêneses, com e tipos de tempo inerentes aos domínios destes sistemas.

Palavras-chave: Enchentes; Regiões Hidrográficas; Correntes Perturbadas; Tipos de tempo.

Abstract

In Rio Grande do Sul, the floods are natural phenomena in the known population, in particular those that inhabit the valleys of major rivers in the State. The objective of this research concerned to identify the disturbed currents and weather types responsible for the genesis of floods in three Hydrographic Basins regions in the State, between the years 2000 and 2011. Methodology was applied based on the rhythm of Climate. Accordingly, it was observed that most of the flooding occurred due to climatic cycles in which there was the participation of the stationary front and cyclogenesis with time and types of fields inherent to such systems.

Key words: Floods; Hydrographic Basins regions; Disturbed currents; Weather types.

Resumen

En Rio Grande do Sul, las inundaciones son fenómenos naturales conocidos por la población, especialmente a los que habitan en los valles de los principales ríos del estado. El objetivo general de esta investigación fue identificar las corrientes alteradas y tipos climáticos responsables de la génesis de las inundaciones en las tres demarcaciones hidrográficas del estado entre 2000 y 2011. Metodología aplicada se basa en el ritmo de clima. En este sentido, se observó que la mayor parte de las inundaciones se produjeron debido a los ciclos climáticos en los que no había participación fija delantera y la ciclogénesis con el tiempo y tipos de áreas inherentes a estos sistemas.

Palabras-claves: Inundaciones; Regiones hidrográficas; Sistemas de producción de lluvia; Tipos de tiempo.

(*) Prof. Dr. do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria – Avenida Roraima, 1000, Prédio 17, Sala 1137, CEP: 97.105-900, Santa Maria (RS), Brasil. Tel: (+55 55) 3220 8143 - cassio_geo@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Desde os períodos mais remotos da história das civilizações, as enchentes aparecem dentre os acontecimentos de ordem natural que influenciam no cotidiano das populações e na dinâmica dos sistemas naturais, sendo precedidas apenas pelos fenômenos ligados à dinâmica endógena terrestre, tais como o vulcanismo, os terremotos e os maremotos.

Tais eventos podem ser considerados uma das consequências da atuação e dinâmica de sistemas naturais sobre a superfície terrestre que maiores alterações provocam no espaço geográfico. Essa dinâmica não se restringe apenas ao aumento da vazão que leva à enchente, mas também aos movimentos atmosféricos, aos processos geomorfológicos e, principalmente, às repercussões ocorridas nas áreas afetadas pelas enchentes, em especial nas áreas urbanas situadas às margens dos rios, onde são processos frequentes.

No Rio Grande do Sul, área de estudo desta pesquisa, as enchentes constituem-se em fenômenos naturais já conhecidos pela população, em especial, aquelas que habitam os vales dos principais rios sul-rio-grandenses. Dentre os principais estudos científicos de levantamento de enchentes nas bacias hidrográficas sul-rio-grandenses, destacam-se os de Reckziegel (2007), Wollmann (2010, 2013), Righi (2011, 2013), Oliveira (2010) e Menezes; Scotti (2013).

A Climatologia Geográfica, ao trabalhar com a dinâmica atmosférica, relacionando-a com a dinâmica do espaço geográfico, pode aliar seus estudos aos de planejamento local e regional de contenção e ação em relação aos desastres naturais, inclusive ao de expansão urbana sobre áreas atingidas por enchentes no Rio Grande do Sul.

No que tange a gênese das precipitações no Estado, conforme Sartori (1979, 1980, 1993, 2003), as chuvas têm sua origem ligada às correntes perturbadas de Sul (Frentes Polares), e de Oeste (Instabilidades Tropicais), com um fortíssimo predomínio das primeiras sobre as segundas.

Entretanto, os volumes de chuvas produzidos pelas Frentes Polares (FP) são muito superiores aos provocados pelas Instabilidades Tropicais (IT), o que submete a ocorrência de enchentes no Estado ao domínio dos sistemas frontais, e principalmente no inverno, em função da melhor caracterização das massas de ar polares em confronto com as de origem tropical, que intensificam o processo frontogenético e elevam, em alguns casos, os totais pluviométricos, denotando aparente sazonalidade às enchentes no Rio Grande do Sul (WOLLMANN, SARTORI, 2009a).

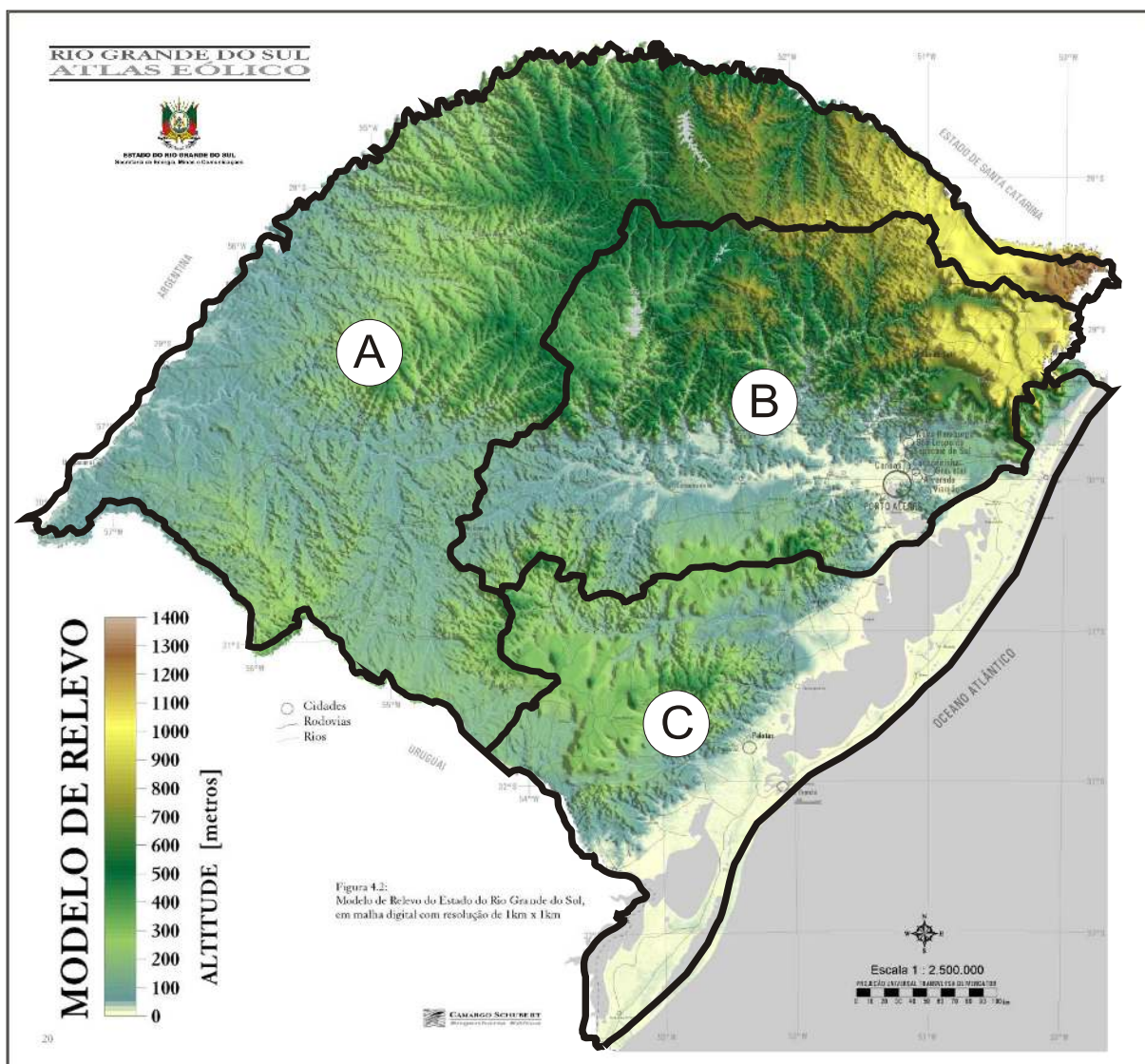
Aliado ao fortalecimento dos sistemas atmosféricos durante o inverno, propiciando certa sazonalidade ao fenômeno, e não um padrão cíclico como ocorre nas cheias da Amazônia brasileira, o relevo do Rio Grande do Sul torna-se um condicionante ao fortalecimento das chuvas sobre o Estado. Em relação às suas províncias geomorfológicas, que condicionam a altitude no Estado, o Planalto da Bacia do Paraná e o Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, que ocupam as porções setentrional e centro-meridional do Estado, propiciam certo efeito orográfico sobre as precipitações no Rio Grande do Sul (WOLLMANN, 2008, 2013).

Enfatizando-se os contrafortes da Serra Geral, que possuem orientação oeste-leste, sendo suas maiores altitudes registradas no setor nordeste do Estado, e sabendo-se que o deslocamento das frentes polares, em geral, dá-se de sudoeste para nordeste (Sartori, op. cit.), a barreira que o rebordo do Planalto exerce ao deslocamento desta corrente perturbada pode ser comparada a uma barreira orográfica, elevando as massas de ar em confronto sobre o Rio Grande do Sul, favorecendo o aumento da quantidade de chuvas que, porventura, cairiam sobre o Estado, caso não houvesse a participação do efeito orográfico no processo de intensificação das chuvas.

Constata-se, ainda, a influência dos eventos de “El Niño” sobre o Rio Grande do Sul em determinados anos. Sabe-se que a influência deste fenômeno, cuja origem está ligada ao aquecimento superficial das águas do Oceano Pacífico Central, dá-se sobre os totais pluviométricos do Estado, intensificando-os em função do fortalecimento do Anticiclone do Atlântico, que barra o deslocamento de frentes polares, permanecendo estes sistemas atmosféricos estacionados sobre o Rio Grande do Sul por alguns dias, favorecendo a formação de enchentes (WOLLMANN, SARTORI, 2009b)



Nesse ínterim, considerando a necessidade de estudo mais intensificado sobre a origem climática das enchentes no Rio Grande do Sul como um todo, o objetivo geral desta pesquisa constituiu-se em identificar os sistemas atmosféricos (correntes perturbadas) e os tipos de tempo responsáveis pela gênese das enchentes nas três Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul (Figura 1), no período de 2000 a 2011.



**A - Região Hidrográfica do Uruguai / B - Região Hidrográfica do Guaíba
C - Região Hidrográfica do Litoral**

Figura 1 – Localização das Regiões Hidrográficas no território do Rio Grande do Sul, hipsometria e divisão das sub-bacias hidrográficas.

Fonte: Atlas Socioeconômico e Ambiental do Rio Grande do Sul – SEMA/FEPAM, 2006.

Org.: WOLLMANN, C. A., 2014.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Adequar uma metodologia coerente com os objetivos propostos tem sido uma grande tarefa dentre todos os ramos da pesquisa científica mundial, o que não seria diferente para a Climatologia Geográfica.

Para a investigação/averiguação da dinâmica climática responsável pelas enchentes, realizou-se, previamente, coleta de dados meteorológicos em diversas estações meteorológicas. Foram selecio-



nadas, pelo menos, uma estação meteorológica representativa de cada sub-bacia hidrográfica do Rio Grande do Sul, somando-se, ao final, 25 estações da Rede da Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO).

Nesse sentido, a Figura 2 mostra a localização aproximada das estações meteorológicas utilizadas para investigação climática das enchentes nas Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul.

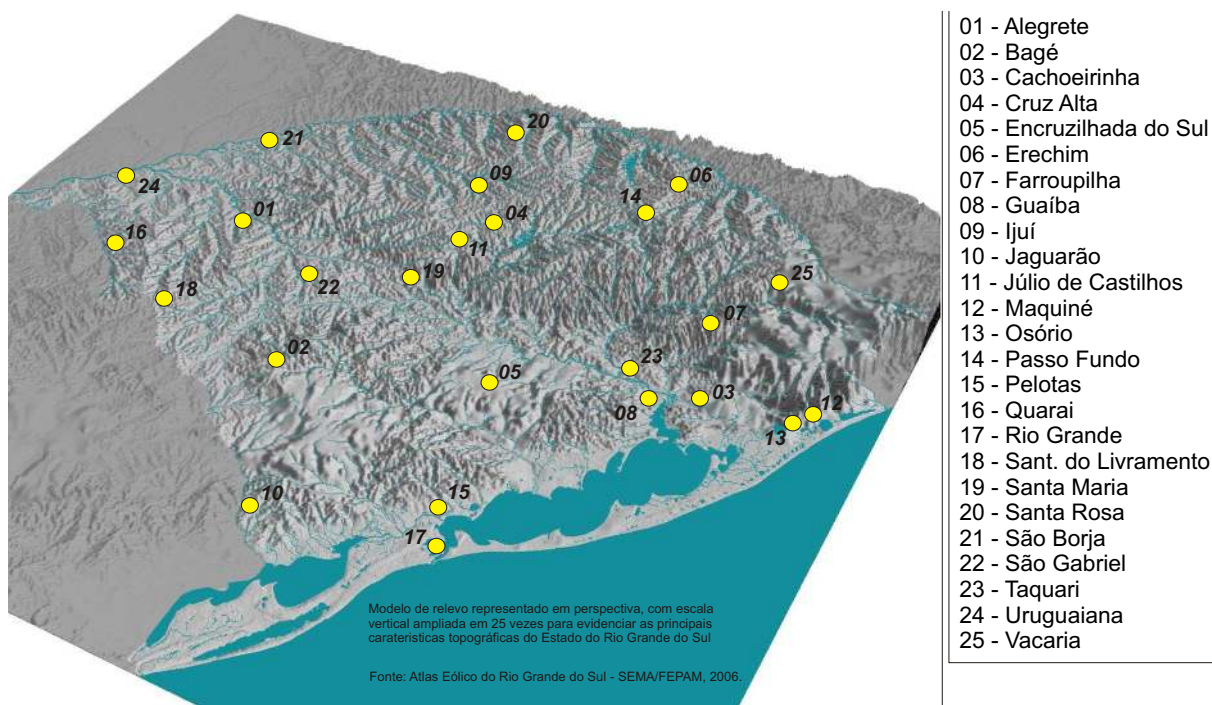


Figura 2 – Localização das Estações Meteorológicas utilizadas (Rede FEPAGRO), ressaltando as características topográficas e as Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul.

Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul – SEMC, 2002.

Org.: WOLLMANN, C. A., 2014.

Destas estações, foram coletados os seguintes dados: pressão atmosférica (12h), temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa do ar, em % (média diária), precipitação (total diário), vento (direção - média diária) em escala diária para as semanas de ocorrência de enchentes.

Considerou-se, como período de análise, as enchentes ocorridas durante o século XXI (2000 a 2011), totalizando 12 anos de análise, período no qual 96 enchentes foram registradas no Rio Grande do Sul, conforme mostra a Tabela 1.

Para a análise das correntes perturbadas e tipos de tempo envolvidos na gênese das enchentes do ponto de vista da circulação atmosférica regional, considerou-se o período entre a entrada de uma Massa Polar Atlântica (MPA) e respectivo Domínio Polar, após, Domínio Frontal, e entrada de outra massa de ar polar, onde a passagem frontal (ou domínio de correntes perturbadas tropicais, como as Instabilidades Tropicais) responsável pela enchente, conforme salientou Wollmann (2008) em sua metodologia, o episódio estaria incluído dentro do período analisado de dados.

Após coletados os dados e definidas algumas diretrizes que nortearam essa primeira etapa metodológica, os dados foram plotados com o auxílio de software RITMOANÁLISE (BORSATO, BORSATO, SOUSA FILHO, 2004), com os quais foram construídos gráficos de Análise Rítmica (MONTEIRO, 1971), a fim de investigar quais tipos de tempo estiveram presentes e responsáveis pelas enchentes, baseando-se na ideia do ritmo climático.

Reg. Hidrográficas*	Bacias Hidrográficas	Total - Enchentes (2000 a 2011)	Total por RH*
RH Guaíba	Gravataí	2	55
	Sinos	5	
	Cai	11	
	Taquari-Antas	14	
	Alto Jacuí	2	
	Vacacaí – Vacacaí-Mirim	2	
	Baixo Jacuí	2	
	Lago Guaíba	14	
	Pardo	3	
RH Litoral	Tramandaí	3	11
	Litoral Médio	0	
	Camaquã	2	
	Mirim – São Gonçalo	5	
	Mampituba	1	
RH Uruguai	Apuaê – Inhandava	1	30
	Passo Fundo	2	
	Turvo – Sta. Rosa – Sto. Cristo	3	
	Piratinim	1	
	Ibicuí	11	
	Quaraí	2	
	Santa Maria	5	
	Negro	0	
	Ijuí	4	
	Várzea	1	
Total de Episódios	Butuí - Icamaguã	0	96
	-	96	

Para a análise da circulação atmosférica regional para identificação dos sistemas atmosféricos (correntes perturbadas) atuantes e posterior contagem (balanço), coletaram-se imagens de satélite da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA-INPE) e as Cartas Sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil. De posse dos gráficos de análise rítmica, imagens de satélite e cartas sinóticas, foi possível identificar quais as correntes perturbadas e os tipos de tempo envolvidos na gênese das enchentes sul-rio-grandenses, bem como calcular a participação e balanço de sistemas nos períodos propostos.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Das Correntes perturbadas Envolvidas

Nesta etapa de análise do trabalho, que consistiu na interpretação dos gráficos de Análise Rítmica (Figura 3a), foi feito o levantamento no que diz respeito ao balanço de sistemas atmosféricos (correntes perturbadas) calculado nos 96 casos de enchentes.

Após análise dos Gráficos, pode-se inferir que os 96 casos de enchentes ocorridas nas bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul entre os anos de 2000 e 2011 tiveram sua gênese ligada à definição de diferentes variações do eixo da Frente Polar Atlântica, além da participação de correntes perturbadas de origem tropical.

Para tal, a tabela 2 mostra as correntes perturbadas atuantes, o total de episódios por região hidrográfica, e o balanço de participação na gênese das enchentes.

Após análise da Tabela 2, evidencia-se que, na Região Hidrográfica do Guaíba, a maioria das enchentes teve sua gênese ligada à definição de “Frente Estacionária” (FE), pois dos 55 episódios de enchentes registrados entre 2000 e 2011, 35 episódios (63,6% do total) tiveram sua gênese ligada a esta corrente perturbada.

Ainda, outros 05 casos (9,0% dos casos) tiveram a combinação de um Ciclone Extratropical no eixo frontal, somando-se, ao total, 72,6% dos episódios de enchente. De acordo com Wollmann (2008, p. 52-53), este tipo de sucessão de sistemas atmosféricos, ligados a um mesmo eixo frontal,



é resultado do fortalecimento Anticiclone Tropical Atlântico. Em função de uma permanência, às vezes de vários dias, do eixo da Frente Estacionária sobre o Rio Grande do Sul, iniciou-se uma ciclogênese, dado ao confronto entre as massas de ar tropicais e polares, que nesse jogo de forças atmosféricas, nenhuma acaba avançando sobre outra, tendo como resultado, portanto, a oclusão da massa de ar.

Tabela 2 – Correntes perturbadas envolvidas e Balanço de Participação nas enchentes ocorridas nas Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul, no período de 2000 a 2011.

Região Hidrográfica	Sistemas Atmosféricos	Total de Episódios por Região	Gênese dos Episódios Total por Sistema Atmosférico	Balanço de Participação (%)
RH Guaíba	C	55	06	11,0
	FE		35	63,6
	FE+C		05	9,0
	FF		06	11,0
	FQ		02	3,6
	IT		01	1,8
RH Litoral	C	11	07	63,6
	FE		03	27,3
	FQ		01	9,1
RH Uruguai	C	30	01	3,3
	FE		22	73,6
	FE+C		02	6,7
	FF		02	6,7
	FQ		02	6,7
	IT+FE		01	3,3
Total		96	96	100,0

Em seguida, empatados com 06 casos (11,0%), os domínios frontais (FF) e ciclônicos (C) pela passagem de Frente Polar Atlântica (FPA) e Frente Quente (FQ) (04 casos cada) e FO (01 caso). Ainda, 02 episódios de enchentes ligados ao domínio de “Frente Quente” (FQ), representando 3,6% do total de episódios, e um caso ligado à participação de correntes perturbadas de origem tropical, as Instabilidades Tropicais (IT), com 1,8% de representatividade no período.

Para a Região Hidrográfica do Litoral, composta por cinco bacias, foram registrados 11 episódios de enchentes entre 2000 e 2011. Deste total, sete (63,6%) tiveram sua gênese atribuída à participação de Ciclone Frontal, ou Extratropical (C). Três episódios foram marcados pela participação de Frente Estacionária (FE), representando 27,3% do total de casos registrados nesta região hidrográfica. E apenas um caso (9,1%) com formação de enchente a partir da passagem de uma Frente Quente (FQ).

Por fim, na análise da Região Hidrográfica do Uruguai, região a qual abrange a maior parte do território do Rio Grande do Sul, com 11 sub-bacias, das 30 ocorrências deflagradas de enchentes, 22 episódios (73,6% do total) foram formadas pela permanência de Frente Estacionária (FE); ainda, pode-se citar que outras duas enchentes ocorreram devido à participação associada entre a FE e Ciclogênese (C), representando 6,7% do total de episódios. Nesse ínterim, pode-se afirmar que a grande maioria dos episódios de enchentes na Região Hidrográfica do Uruguai ocorreram por influência da permanência de Frentes estacionárias sobre a região em 80% dos episódios.

Em seguida, empatados com duas ocorrências estão as Frentes Quentes (FQ) e as Frentes Frias (FF), representando 6,7% do total das enchentes em cada uma destas variações do eixo da Frente Polar Atlântica. Ainda, Ciclogêneses (C) foram responsáveis por apenas um caso de enchente no período analisado, representando 3,3% do total.

Assim, como na Região Hidrográfica do Guaíba, a Região do Uruguai apresentou um episódio (3,3% dos casos) de enchente ligado à participação de correntes perturbadas de origem tropical (Instabilidade Tropical – IT), porém associada à posterior permanência de sistemas polares (Frente Estacionária - FE).

Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta o balanço, nos 96 casos de enchente, dos tipos de Correntes Perturbadas (Frentes Polares, Ciclones Extratropicais e Instabilidades Tropicais) e sua participação

em relação à gênese das enchentes, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 3 – Balanço de Participação de Correntes Perturbadas nas enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul, no período de 2000 a 2011.

Sistemas Atmosféricos	Total de Participações	Balanço de Participação (%)
C	14	14,6
FE	60	62,5
FE+C	07	7,3
FF	08	8,3
FQ	05	5,3
IT	01	1,0
IT+FE	01	1,0
<i>Total</i>	<i>96</i>	<i>100,0</i>

Assim, vê-se que a frente polar do tipo Estacionária (FE) foi a que teve maior percentual de participação sobre a gênese das enchentes (62,5%), especialmente. Esse fato deve-se, principalmente, conforme analisado por Wollmann (2008) e Wollmann; Sartori (2009a), ao Anticiclone Tropical Atlântico (ATA), por estar mais forte do ponto de vista do gradiente barométrico em comparação com o Anticiclone Polar Atlântico (APA), fazendo com que as Frentes Polares não avancem para latitudes tropicais, podendo permanecer vários dias sobre o território sul-rio-grandense, produzindo muita chuva, e gerando, nestes casos, enchente.

Esta sucessão do tempo pode parecer uma certa “paralisação” da circulação atmosférica, pois as condições meteorológicas apresentam-se semelhantes por vários dias, especialmente em relação à temperatura e cobertura de nuvens.

Nesse sentido, Sartori (1993b, p. 79-80), baseando-se em Monteiro (1969) coloca, a respeito deste tipo de sucessão do tempo, que:

O modo de sucessão dos vários estados do tempo em superfície parece indicar, para observadores leigos, uma certa paralisação da circulação do ar dando idéia de indefinição do tempo. Na realidade, são situações de grande dinamicidade da atmosfera resultante de avanços das Frentes Polares que, ao se chocarem com as massas tropicais mais ativas, recuam como Frentes Quentes. Origina-se, assim, uma fase de “frentes indecisas” (MONTEIRO, 1969:48) que avançam favorecendo o desenvolvimento de ciclones frontais no eixo principal da FPA, o que indica um equilíbrio de forças entre os sistemas extratropicais e os intertropicais.

Em segundo lugar, com 14 casos registrados (14,6%), a frente do tipo oclusa, ou seja, com Ciclogênese (C), foi responsável pelas enchentes registradas no período analisado. Este tipo de sucessão, conforme Sartori (1981, 1993a, 2003), é mais comum durante o inverno, pois a trajetória do APA, muitas vezes, é mais continentalizada, assim, o ramo da FPA também se interioriza mais no continente, podendo ocorrer ciclogêneses sobre o Estado, provocando chuvas fortes (acima de 60 mm), podendo provocar enchentes.

Corroborando estes dados com o levantamento realizado por Reckziegel (2007), observa-se que as enchentes oriundas da participação de Ciclogênese são as mais destruidoras do ponto de vista das perdas econômicas e sociais, devido ao grande volume e intensidade pluviométrica.

Ainda, com 07 participações (7,3% do total de episódios), predominou a gênese de enchentes associadas à combinação de Frente Estacionária com Ciclogênese em seu eixo frontal (FE+C), resultado este que fortalece a participação das Frentes estacionárias como derivadoras de enchentes no Rio Grande do Sul.

Com 08 e 05 participações nos casos de enchente (8,3% e 5,3%, respectivamente), as frentes polares dos tipos Frente Fria (FF) e Frente Quente (FQ) aparecem como os subtipos de correntes



perturbadas polares que menos tiveram influência nas enchentes sul-rio-grandenses em comparação com as FE e C.

No caso desta derivação da frente polar (FF), o fato de gerar grande quantidade de chuva a ponto de produzir enchente, segundo Wollmann (op. cit.), reside nas condições da circulação atmosférica regional durante o inverno, estação do ano na qual as frontogêneses são mais intensas, fruto do fortalecimento dos centros de ação em confronto, produzindo mais chuva, e não em função de seu rápido deslocamento.

Mas a grande causa para as enchentes ocorrerem com este tipo de frente, no verão, primavera e mesmo no inverno, é a barreira orográfica formada pelo Rebordo do Planalto da Bacia do Paraná, que eleva os sistemas atmosféricos, diminuindo a temperatura e, conseqüentemente, condensando maior quantidade de umidade presente na atmosfera, produzindo mais chuva, principalmente nas cabeceiras das bacias (Guaíba e Uruguai), gerando a enchente (WOLLMANN, op. cit.).

Já no caso das frentes do tipo Quente (FQ), reside a explicação de que, às vezes, o ATA está mais forte do que o APA, mesmo durante o verão, pois o primeiro é abastecido por subsidência permanente de ar da atmosfera superior, enquanto que o segundo forma-se por acúmulo de ar polar, acúmulo este que pode diminuir significativamente durante o verão, pois os sistemas de origem polar encontram-se descaracterizados, assim, o ATA pode barrar as frentes em latitudes tropicais, e, ao aumentar sua área de atuação, faz com que a frente recue como frente quente, podendo aumentar significativamente os totais pluviométricos sobre o Rio Grande do Sul, levando à ocorrência de enchentes. (SARTORI, 2003; WOLLMANN, op. cit.).

No caso das Frentes Quentes registradas durante a primavera e inverno, o ATA estando mais forte em relação ao APA, em função do resfriamento do Hemisfério Sul como um todo, pode fazer as frentes recuarem de latitudes tropicais, produzindo chuva, às vezes, em maior quantidade, pois a frontogênese é mais intensa, gerando enchente.

Ainda, no que se refere às correntes perturbadas tropicais na gênese de enchentes no Estado, com 01 caso (1,0% do total), houve a participação de Instabilidades Tropicais (IT) e em outro 01 caso (1,0%), a associação de IT com Frente Estacionária.

No primeiro caso, com participação de IT, o centro de ação conhecido como Baixa do Chaco, cuja localização média consta aproximadamente na tríplice fronteira Brasil-Argentina-Paraguai, e responsável pela formação da Massa Tropical Continental - MTC (Monteiro, 1969), nestes casos, em situações pré-frontais (antes da chegada de Frentes Polares ao Rio Grande do Sul) – (SARTORI, op. cit.), a MTC pode atingir, principalmente, o Noroeste do Estado, trazendo consigo Instabilidades Tropicais, provocando grandes volumes pluviométricos em curto espaço de tempo (chuvas convectivas), levando à ocorrência de apenas 01 caso de enchente.

No segundo caso, como as IT ocorrem em situações pré-frontais, ocorreu uma combinação da IT com a Frente Polar que avançava sobre o Estado. Esta mesma frente estacionou-se sobre o território Sul-rio-grandense, cuja pluviometria pode ser somada à provocada pela IT, intensificando a enchente.

Dos Tipos de Tempo Envolvidos

A Tabela 4 apresenta o balanço de participação dos tipos de tempo envolvidos na gênese das enchentes nas regiões hidrográficas sul-rio-grandenses. Ao total, foram contabilizados 104 tipos de tempo ao longo das ocorrências de enchentes, número maior quando comparado com o número de episódios observados. O total de tipos de tempo registrado foi maior do que o número de ocorrências de enchentes devido ao registro de dois ou mais tipos de tempo dominantes dentro da mesma bacia hidrográfica (dado a sua grande extensão territorial e à influência dos fatores geográficos sobre a dinâmica climática regional, especialmente a altitude), especialmente quando em estações meteorológicas diferentes, pois cada uma estava sob domínio atmosférico distinto.

No que se refere aos tipos de tempo relacionado com a dinâmica frontal na Região Hidrográfica do Guaíba (que compreende nove bacias), aparecem os tipos de tempo oriundos de frentes estacionárias como os que mais tiveram influência na gênese dos episódios de enchente. O tempo “Frontal Estacionário” (FE), dos 55 episódios de enchente, foi responsável pela gênese de 36 destes, totalizando 65,4% dos casos. Este tipo de tempo se caracteriza pela presença da Frente Polar Atlântica quase que paralisada sobre o Estado por pelos menos dois dias, aumentando os totais pluviométricos em comparação com uma passagem frontal normal de 24 horas.

Tabela 4 – Tipo de Tempo envolvidos e Balanço de Participação nas enchentes ocorridas nas Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul, no período de 2000 a 2011.

Região Hidrográfica	Tipos de Tempo	Total de Episódios por Região	Gênese dos Episódios Total por Tipo de Tempo	Balanço de Participação (%)
RH Guaíba	TFCAD	55	06	10,9
	TFE		36	65,4
	TFE+TFCAI		05 (Total de 10)	9,1
	TFSAM		05	9,1
	TFNE		02	3,6
	TDC		01	1,9
RH Litoral	TFCAD	11	02	18,2
	TFCAI		05	45,5
	TFE		03	27,2
	TFNE		01	9,1
RH Uruguai	TFE	30	23	76,6
	TFE+TFCAD		02 (Total de 04)	6,7
	TFSAM		02	6,7
	TFNE		02	6,7
	TDC+TFE		01 (Total de 02)	3,3
Total		96	104	100,0

Além disso, a associação do tempo FE com o “Tempo Frontal Ciclônico de Atuação Indireta” (TFCAI), que se caracteriza pela presença de ciclone frontal na latitude do Rio Grande do Sul, porém posicionado sobre o Oceano Atlântico, deslocando umidade para o continente, em função de sua movimentação no sentido horário, e contribui para o aumento dos registros pluviométricos. Este tipo de tempo foi responsável pela formação de mais cinco enchentes (9,1% dos casos).

Nesse sentido, a participação de frentes estacionárias (com e sem a presença de Ciclogênese), foi responsável pela formação de 41 episódios de enchentes, de um total de 55, representando 74,5% dos casos na Região Hidrográfica do Guaíba.

Em seguida, o tipo de tempo que mais representou participação na formação de episódios de enchentes foi o “Tempo Frontal Ciclônico de Atuação Direta” (TFCAD). Este tipo de tempo caracteriza-se pela oclusão da Frente Fria sobre o território do Rio Grande do Sul, elevando consideravelmente os totais pluviométricos no Estado, podendo facilmente chover mais de 50 mm em mais de 24 horas (SARTORI, 1981). O TFCAD foi responsável por seis episódios de enchentes, ou seja, 10,9% do total de casos.

Posteriormente, 05 casos (9,1% do total), tiveram sua gênese ligada à participação do “Tempo Frontal de Sudoeste de Atuação Moderada” (TFSAM). Este tipo de tempo caracteriza-se pela rápida passagem de Frentes Polares sobre o Estado, com deslocamento rápido (superior à 80 km/h), com formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical (Cumulonimbus) e registros pluviométricos superiores à 30 mm.

Em dois casos (3,6% do total de episódios), houve a participação do “Tempo Frontal de Nordeste” (TFNE). Este tipo de tempo caracteriza-se pela passagem da Frente Polar Atlântica, geralmente um a dois dias antes da ocorrência da enchente, e em função do Anticiclone (Polar ou Atlântico) que se encontra à vanguarda deste eixo frontal, encontrar-se mais fortalecido (gradiente



barométrico horizontal) em comparação com o centro de ação que se encontra à retaguarda do eixo frontal (Anticiclone Polar Atlântico), ocorre o retrocesso da Frente Polar (que já se encontrava sobre território catarinense, ou paranaense) para o Rio Grande do Sul (retornando como Frente Quente), o que, em alguns casos, leva ao fortalecimento do sistema frontal (Frontogênese ativa), intensificando a precipitação, levando, às vezes, à ocorrência de episódios de enchentes no Estado.

Por fim, com apenas um caso, representando 1,9% do total de enchentes na Região Hidrográfica do Guaíba, houve a participação do “Tempo Depressionário Continental” (TDC). Este tipo de tempo, diferente dos demais citados, não é de origem extratropical, mas sim de origem tropical. Está ligado à participação da Massa Tropical Continental sobre o Rio Grande do Sul.

Em situações Pré-Frontais (antes da chegada de Frente Fria), o Rio Grande do Sul encontra-se sobre domínio ou da Massa Tropical Atlântica ou da Massa Polar Velha, que caracterizam-se por elevada temperatura e abaixamento gradativo da pressão atmosférica no Estado (SARTORI, op. cit.).

Em função desses dois elementos do clima, especialmente o gradiente barométrico, o centro de ação conhecido como Baixa do Chaco, responsável pela formação da Massa Tropical Continental, alcança o Rio Grande do Sul, provocando, em alguns casos, grande processo convectivo com formação de nuvens Cumulonimbus e chuvas convectivas (Instabilidades Tropicais), que se caracterizam por elevado total e intensidade pluviométrica.

Na Região Hidrográfica do Litoral, formada por cinco bacias, dos 11 casos de enchentes registradas entre os anos de 2000 e 2011, 05 deles (45,5% do total) tiveram sua gênese ligada à participação do “Tempo Frontal Ciclone de Atuação Indireta” (TFCAI), que se caracteriza pela presença de ciclogênese sobre o Oceano Atlântico, em mesma latitude do Estado, deslocando umidade para o continente, provocando aumento dos registros pluviométricos, e levando à ocorrência de enchentes.

Dois casos de enchente (18,2%) tiveram sua gênese condicionada ao “Tempo Frontal Ciclone de Atuação Direta” (TFCAD), que caracteriza-se pela presença do Ciclone Frontal sobre o Rio Grande do Sul, com registros pluviométricos, muitas vezes, superiores à 50 mm em menos de 24 horas, levando à ocorrência do fenômeno.

Diferentemente dos resultados discutidos na Região Hidrográfica do Guaíba, no Litoral, os sistemas frontais estacionários tiveram sua participação em apenas três episódios de enchentes, totalizando 27,2% dos casos, com predomínio do “Tempo Frontal Estacionário” (TFE), quando a Frente Polar Atlântica permanece por mais de um dia sobre o Estado.

Por fim, com apenas um caso (9,1% do total), houve a ocorrência de enchente com domínio do “Tempo Frontal de Nordeste” (TFNE), caracterizado pelo retrocesso do eixo da frente polar de menores latitudes para latitudes do Rio Grande do Sul.

Diferentemente das enchentes registradas na Região Hidrográfica do Guaíba, que tiveram sua gênese, em mais de 70% dos casos, ligadas à participação de sistemas frontais estacionários (Frente Estacionária), na Região Hidrográfica do Litoral, mais de 60% dos casos de enchentes foram condicionadas pela participação de sistemas frontais oclusos (Ciclones Frontais). Entretanto, em comum, observou-se que a gênese das enchentes está fortemente ligada à participação de sistemas extratropicais.

Na Região Hidrográfica do Uruguai, representada por onze bacias, registraram-se 30 episódios de enchentes entre os anos de 2000 e 2011. Desse total, 23 casos (76,6% do total) tiveram sua gênese atribuída ao “Tempo Frontal Estacionário” (TFE), e em dois casos (6,7%), ocorreu a participação do TFE com a formação de ciclogênese sobre o Estado, dominando o “Tempo Frontal Ciclone de Atuação Direta” (TFCAD).

Tal situação climática ocorre quando a Frente Estacionária permanece por mais de dois dias sobre o Estado, e em função do jogo de forças entre os dois anticiclones envolvidos, provocando condição semi-fixa do eixo frontal, o mesmo começa a sofrer oclusão sobre o Estado, formando-se o Ciclone Frontal, levando à intensificação da pluviometria, logo, ocorrendo enchentes.



Em dois casos (6,7% do total) ocorreram enchentes ligadas tanto à participação do “Tempo Frontal de Sudoeste de Atuação Moderada” (TFSM) e do “Tempo Frontal de Nordeste” (TFNE). O primeiro diz respeito à passagem rápida de frentes polares, com formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, que provocam muita chuva. Já o segundo tipo de tempo está relacionado ao retorno do eixo frontal de latitudes menores para o Rio Grande do Sul, como ocorreram em enchentes tanto na Região Hidrográfica do Guaíba quanto no Litoral.

Por fim, com apenas um episódio (3,3% dos casos de enchente nessa região), ocorreu a participação do “Tempo Depressonário Continental” (TDC) seguido do domínio do “Tempo Frontal Estacionário” (TFE). Neste episódio, antes da chegada da Frente Fria (situação Pré-Frontal), dominou sobre o Noroeste do Estado, região mais próxima da área de maior atuação da Baixa do Chaco, a Massa Tropical Continental, responsável por chuvas convectivas e Instabilidades Tropicais.

Após domínio da Massa Tropical Continental, deu-se a entrada da Frente Polar que, em seguida, permaneceu estacionária sobre o Estado, contribuindo para o aumento dos registros pluviométricos no Noroeste do Rio Grande do Sul, levando à ocorrência deste caso de enchente na Região Hidrográfica do Uruguai.

Para facilitar a interpretação, a Tabela 5 apresenta o balanço de participação de todos os tipos de tempo envolvidos na gênese das enchentes no Rio Grande do Sul (sem a divisão em Regiões Hidrográficas) entre os anos de 2000 e 2011.

Tabela 5 – Balanço de Participação dos tipos de tempo envolvidos nas enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul, no período de 2000 a 2011.

Tipos de Tempo	Total de Participações	Balanço de Participação (%)
TFCAD	08	07,7
TFCAI	05	04,8
TFE	62	59,7
TFE+TFCAD	04	03,8
TFE+TFCAI	10	09,6
TFSAM	07	06,7
TFNE	05	04,9
TDC	01	00,9
TDC+TFE	02	01,9
Total	104	100,0

Em relação aos tipos de tempo relacionado com a dinâmica frontal, apenas, aparecem o “Frontal Estacionário”, o “Frontal de Sudoeste de Atuação Moderada” e o “Frontal de Nordeste” como os mais atuantes, com 59,6%, 6,7% e 4,9% de participação, respectivamente.

Este fato revela que não são as frentes frias produtoras de pouca chuva que mais estão ligadas à gênese das enchentes, mas sim as Frentes Estacionárias, as Frentes Frias de Deslocamento Rápido e as Frentes Quentes.

A saber, em alguns casos o “Tempo Frontal de Fraca Atuação”, não sendo levantado durante esta pesquisa, dominou em alguns períodos, anteriores ou posteriores à chegada das frentes quentes e estacionárias, elevando um pouco os totais pluviométricos e contribuindo para o encharcamanto do solo, não sendo diretamente responsável pela gênese da enchente.

Além desses tipos de tempo ligados, ocorreram, em 14 episódios de enchentes, a participação de ciclogênese no eixo frontal, sendo que, em 10 destas 14 casos (9,6% do total), a ciclogênese ocorreu sobre o Oceano Atlântico, enquanto que, em apenas 04 casos (3,8%), a ciclogênese ocorreu sobre o território do Rio Grande do Sul.

Com 7,7% e 4,5% de participação, respectivamente, os tipos de tempo “Frontal Ciclônico de Atuação Direta” e o “Frontal Ciclônico de Atuação Indireta” aparecem como os que também são



responsáveis pela gênese das enchentes, especialmente o primeiro, ligado à presença do ciclone extratropical sobre o território sul-rio-grandense.

No que se refere ao levantamento das correntes perturbadas de origem tropical, 03 enchentes ocorreram em função da participação do “Tempo Depressionário Continental”, com presença de Instabilidades Tropicais, propiciando chuvas convectivas em grande quantidade em um curto período de tempo. Desses 03 casos, 01 enchente (0,9%) foi gerada apenas com a precipitação convectiva, enquanto que os outros dois casos (1,8%) tiveram, além da precipitação convectiva, a soma de precipitação oriunda de Frente estacionária, o que gerou maiores volumes de chuva e, conseqüentemente, enchentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do momento no qual se optou por trabalhar com a temática das enchentes no Rio Grande do Sul, constatou-se que muitas linhas de pesquisa em Geografia têm trabalhado com esta problemática. Nesse sentido a Climatologia Geográfica como linha de pesquisa pode ser indicada primordialmente para o estudo destas, dado ao bom embasamento metodológico já existente e ao baixo número de trabalhos sobre este tema no Estado.

Os dois grandes fatores geográficos ligados à gênese das enchentes no Rio Grande do Sul são o clima, com suas sucessivas, e quase semanais, passagens frontais, cujas variações do eixo frontal apenas reclassificam-na em diferentes sistemas atmosféricos, e o relevo, cujas altitudes são capazes de provocar certo efeito orográfico, intensificando a precipitação.

Algumas correntes perturbadas e tipos de tempo podem tornar-se decisivos na ocorrência de enchentes, entre eles podem-se citar as Frentes Estacionárias, derivadoras do Tempo Frontal Estacionário. Ainda, as intensas e quase semanais ciclogêneses que atingem o Rio Grande do Sul, seja direta ou indiretamente, promovem grande precipitação, tanto em volume quanto em intensidade.

Nesse sentido, a gênese das enchentes no Rio Grande do Sul, em mais de 90% dos casos, está condicionada à participação das correntes perturbadas de origem polar (Frentes Polares); e ainda, as variações do eixo da frente polar, tais como as frentes estacionárias, quentes, frias e ciclones é que podem ter maior ou menor participação na gênese das enchentes, mas todos derivam de um mesmo sistema atmosférico. Apenas em alguns casos, há a participação de correntes perturbadas de origem tropical, como as Instabilidades Tropicais.

Assim, esse estudo contribui para o rol de pesquisas geográficas brasileiras e sul-rio-grandenses, especialmente para os estudos envolvendo riscos e eventos naturais, servindo, portanto, como uma fonte teórico-metodológica que possa motivar investigações futuras.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BORSATO, V. A.; BORSATO, F. H.; SOUSA FILHO, E. E. Análise Rítmica e Variabilidade Têmporo-Espacial. In: VI Simp. Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2004, **Anais...** Aracaju - SE. 01 CD-ROM, 2004.
- FERIGOLO, E. F.; VALMERATE, M. M. S.; SARTORI, M. G. B. As chuvas no Rio Grande do Sul e a explicação genética dos episódios de seca e enchentes no período de junho de 1979 a maio de 1985. **Geografia – Ensino e Pesquisa**, n. 1, p. 39-68, 1987.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico e ambiental do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2006. 65p.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2002. 65p.
- MENEZES, D. J.; SCCOTI, A. A. V. Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2013. p. 163-182.
- MONTEIRO, C. A. F. Análise rítmica em climatologia – problemas da atualidade climática em São Paulo e

achegas para um programa de trabalho. **Revista IGUSP**. São Paulo. [s./v.], [s./n.], p. 1-21, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil** – contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. 1. ed. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1969. 69p. (Série Teses e Monografias, 1).

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010, 148p.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2005**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RIGHI, E. Inundações ao longo do rio Uruguai: o caso dos municípios de Porto Lucena e São Borja. In.: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2013. p. 253-280.

RIGHI, E. **Risco a inundação em médio curso do Rio Uruguai: Um Estudo de Caso nos Municípios de Porto Lucena e São Borja**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011, 222p.

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

SARTORI, M. G. B. “Distribuição das chuvas no Rio Grande do Sul e a variabilidade têmporo-espacial no período 1912-1984”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA. 5. 1993a, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1993a.

SARTORI, M. G. B. As variações pluviométricas e o regime das chuvas na região central do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia Teorética**. n. 23. p. 70-84. 1993b.

SARTORI, M. G. B. A circulação atmosférica regional e as famílias de tipos de tempo identificadas na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, n. 3, p. 101-110, 1981.

SARTORI, M. G. B. Balanço sazonal da participação dos sistemas atmosféricos em 1973, na região de Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, n. 2, p. 41-53, 1980.

SARTORI, M. G. B. **O clima de Santa Maria: do regional ao urbano**. 1979. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

WOLLMANN, C. A. Gênese e tipologias climáticas das enchentes no Rio Grande do Sul. In.: ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2013. p. 149-162.

WOLLMANN, C. A.; SARTORI, M. G. B. A Percepção Ambiental e Climática da População de São Sebastião do Caí como forma de Previsão de Enchentes na Bacia Hidrográfica do Rio Caí - Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 06, p. 107-134, 2010.

WOLLMANN, C. A.; SARTORI, M. G. B. Sazonalidade dos Episódios de Enchentes na Bacia Hidrográfica do Rio Caí RS, no período de 1982 a 2005. In: III Simpósio Internacional de Climatologia, 2009, **Anais...** Canela - RS. 01 CD-ROM, 2009a.

WOLLMANN, C. A.; SARTORI, M. G. B. Ocorrência de Episódios de Enchentes na Bacia Hidrográfica do Rio Caí RS, e sua relação com o Fenômeno El Niño. In: III Simpósio Internacional de Climatologia, 2009, **Anais...** Canela - RS. 01 CD-ROM, 2009b.

Trabalho enviado em março de 2014

Trabalho aceito em abril de 2014

