Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE GRANIZADAS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL: VARIABILIDADE NO TEMPO E NO ESPAÇO

Probability of hail storms in Rio Grande do Sul, Brazil: variability in time and space

Probabilidad de ocurrencia de granizadas Rio Grande do Sul, Brazil: variabilidad en el tiempo y en el espacio

Denise Cybis Fontana
Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
dfontana@ufrgs.br

Bernadete Radin
Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Bernadete.radin@ufrgs.br

Daniele Ghellar de Almeida
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
danighellar@gmail.com

Brenda Reis Ferreira
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
brendareisferreiraa@gmail.com

Ricardo Wanke de Melo
Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia/Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS))
Ricardo.wanke@ufrgs.br

Resumo: O conhecimento sobre a climatologia da ocorrência de granizo é fundamental para a avaliação do risco ambiental associado às atividades agropecuárias no Estado do Rio Grande do Sul. Os objetivos do presente estudo foram: quantificar a ocorrência de granizadas em escalas mensal, sazonal e anual; testar o ajuste da função e estimar as probabilidades de ocorrência ao longo do ano e por estação do ano; e correlacionar a probabilidade de ocorrência de granizadas com fatores meteorológicos. Para tal, foram analisados dados diários de registros de granizadas provenientes de 43 estações meteorológicas distribuídas pelo Estado, no período de 1944 a 2022. A partir desses dados, foram calculadas as estatísticas descritivas e testado o ajuste à função de distribuição teórica de Poisson para cada estação meteorológica nos intervalos de tempo analisados. No período de maior probabilidade de ocorrência do fenômeno, foram elaborados mapas com símbolos pontuais proporcionais e realizada a análise de correlação entre a probabilidade de ocorrência de granizadas e variáveis geográficas. Os dados analisados, para a maior parte das estações meteorológicas e períodos avaliados, se ajustaram à função de distribuição de Poisson, o que permitiu caracterizar e dimensionar que é na transição do inverno para a primavera que se verifica a maior probabilidade de ocorrer granizadas no Estado, especialmente na região norte do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Eventos Extremos. Risco Climático. Climatologia.

Abstract: The knowledge about the climatology of hail occurrence is fundamental for the assessment of environmental risk associated with agricultural activities in the State of Rio Grande do Sul. The objectives were: to quantify the occurrence of hail on monthly, seasonal and annual scales; to estimate the probabilities of its incidence throughout the year and by season; to test the function fit and to correlate the probability of hair storms occurrence with meteorological factors. To this end, daily hail data from 43 meteorological stations distributed throughout the State were analyzed, from 1944 to 2022. From these data, descriptive statistics were calculated and the fit to the theoretical Poisson distribution function was tested for each meteorological station in the analyzed time intervals. In the period of greatest probability of occurrence of the phenomenon, maps with proportional point symbols were prepared and a correlation analysis was performed between the probability of hail occurrence and geographic variables. The data analyzed, for most of the meteorological stations and periods evaluated, adjusted to the Poisson distribution function, which allowed characterizing and measuring that it is in the transition from winter to spring that the greatest probability of hailstorms occurs in the State, especially in the northern region of Rio Grande do Sul.

Keywords: Extreme Events. Climate Risk. Climatology

Resume: El conocimiento sobre la climatología de la ocurrencia de granizo es fundamental para la evaluación del riesgo ambiental asociado a las actividades agropecuarias en el estado de Rio Grande do Sul. Los objetivos del presente estudio fueron: cuantificar la ocurrencia de granizadas en las escalas mensual, estacional y anual; probar el ajuste de la función y estimar las probabilidades de ocurrencia a lo largo del año y por estación; y correlacionar la probabilidad de ocurrencia de granizadas con factores meteorológicos. Para ello, se analizaron datos diarios de registros de granizadas provenientes de 43 estaciones meteorológicas distribuidas por el estado, en el período de 1944 a 2022. A partir de estos datos, se calcularon las estadísticas descriptivas y se probó el ajuste a la función de distribución teórica de Poisson para cada estación meteorológica en los intervalos de tiempo analizados. En el período de mayor probabilidad de ocurrencia del fenómeno, se elaboraron mapas con símbolos puntuales proporcionales y se realizó el análisis de correlación entre la probabilidad de ocurrencia de granizadas y las variables geográficas. Los datos analizados, para la mayor parte de las estaciones meteorológicas y períodos evaluados, se ajustaron a la función de distribución de Poisson, lo que permitió caracterizar y dimensionar que es en la transición del invierno a la primavera cuando se verifica la mayor probabilidad de ocurrencia de granizadas en el estado, especialmente en la región norte de Rio Grande do Sul.

Palabras clave: Eventos Extremos. Riesgo Climático. Climatología.

Submetido em: 26/05/2025
Aceito para publicação em: 21/09/2025
Publicado em: 24/07/2024

1. INTRODUÇÃO

As tempestades que produzem grandes volumes de granizo e/ou granizo de maiores diâmetros podem resultar em danos significativos em diversos setores. Na agricultura, os impactos do granizo compreendem destruição parcial ou total de colheitas, que podem ser o acamamento e quebra de colmos e de ramos, debulha de grãos, danos em frutos, destruição da parte aérea de plantas, laceração de folhas e desfolhamento. Mas também efeitos indiretos são observados como a redução da área fotossinteticamente ativa, o rompimento da circulação da seiva e a criação de ambiente propício ao ataque de moléstias (Berlato et al., 2000). Em uma extensa e abrangente revisão sobre granizo, Allen et al. (2020) apresentaram, além da caracterização da física da formação do fenômeno, também descreveram os sistemas de monitoramento existentes nos vários continentes e suas peculiaridades. A partir dos dados levantados, os autores apresentaram a climatologia do fenômeno, salientando as regiões de maior ocorrência do fenômeno no mundo, destacando a Região Sul do Brasil nesse grupo. Segundo Atlas Brasileiro de Desastres Naturais no Brasil (2013), as granizadas são responsáveis por 4,2% do total dos desastres naturais, sendo característico da Região Sul, a qual detém 88% do total dos registros (período de 1991-2012).

É considerado granizo qualquer fragmento de gelo, regular ou irregular, que chegue na superfície com um diâmetro que exceda 5 mm em qualquer eixo (Allen et al., 2020). O granizo é um tipo de precipitação sólida, cuja formação está associada aos sistemas convectivos, instabilidades causadas por passagem de frentes frias (FF) ou, em maior escala, aos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Plen e Holland, 2018). Dentro da nuvem cumulonimbus, as partículas de gelo são mantidas em suspensão por fortes correntes ascendentes. À medida que elas sobem e descem repetidamente devido a essas correntes convectivas, novas camadas de água super-resfriada aderem à superfície do gelo e se congelam, aumentando o tamanho do granizo. Em consequência, o granizo apresenta uma estrutura em camadas, que reflete os ciclos de subida e descida dentro da nuvem. O crescimento do granizo é interrompido quando a partícula atinge um tamanho e peso que excedem a força das correntes ascendentes, resultando em sua queda para a superfície (Allen et al., 2020).

Dadas as consequências nefastas associadas à queda do granizo na superfície, este é um evento adverso muito estudado nos diferentes países do mundo. Mas como o granizo é um evento meteorológico localizado, já que as células de precipitação estão limitadas à incidência de nuvens do tipo Cumulonimbus, é desafiador obter dados que representem de forma adequada sua ocorrência e distribuição no tempo e no espaço. As metodologias disponíveis para caracterização deste fenômeno adverso apresentam limitações significativas. E mesmo bases de dados similares, oriundas de países diferentes mostram peculiaridades que impactam na qualidade dos estudos de climatologia (Hulton e Schultz, 2023).

Nas estações meteorológicas convencionais há o registro da ocorrência de granizadas feito pelo observador meteorológico, o que resulta em uma subestimativa, pois somente uma fração dos eventos ocorridos são observados. Além disso, a possibilidade de caracterizar as granizadas a partir de dados de estações meteorológicas é variável de um país para outro e dependente da densidade e distribuição da rede de estações meteorológicas. No Brasil, somente o número de granizadas é registrado, enquanto que em países com maior desenvolvimento tecnológico outras características, como intensidade, diâmetro da pedra, horário de ocorrência, duração, entre outras características, constam nessas bases de dados (Li et al., 2018; Allen et al., 2020; Hulton e Schultz, 2023).

Uma segunda fonte importante de dados sobre a ocorrência de granizadas no Brasil são os registros da Defesa Civil, através do Sistema Integrado de Formação de Desastres. O dado disponibilizado no “Relatório de Ocorrência de Tempestade local/convectiva – Granizo”, contém informações quanto ao número de ocorrências, pessoas afetadas e decretos de situação de emergência e calamidade pública. As limitações desse conjunto de dados derivam da associação entre o número de registros e a densidade populacional. Em regiões com maior densidade populacional ocorre maior registro, dada a maior possibilidade de observação. Outro aspecto é que os municípios têm dimensões diferentes, impactando no valor de sinistros declarados (Caldana et al., 2019 a,b).

Uma terceira fonte de dados sobre granizadas é o uso de imagens de satélite e de modelos numéricos, tanto para a previsão de ocorrência em tempo real, como para análises climatológicas locais e globais (Plein e Holland, 2018; Murilo et al., 2021; Kahraman et al., 2024). Limitações também aparecem, as quais são decorrentes principalmente da adequação dos métodos de estimativa da ocorrência de granizo utilizando parâmetros obtidos

remotamente das nuvens, assim como da disponibilidade de séries contínuas de curta duração, o que é incompatível com análises climatológicas.

No território brasileiro, estudos utilizando as três bases de dados mencionadas demonstraram a coerência e complementariedade entre elas, ampliando a capacidade de caracterização deste fenômeno. Estudos como os de Martins et al. (2017), Caldana et al. (2019a,b) e Berlato et al. (2000) apontam que o maior número de eventos destrutivos de granizo ocorre nos três estados situados mais ao sul do Brasil e que o mesmo é mais frequente nos meses de transição entre o inverno e a primavera.

Partindo da premissa de que o conhecimento sobre a climatologia de ocorrência de granizadas é um dado vital para dimensionamento do risco associado a esse fenômeno na atividade agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, foi delineado o presente trabalho. Os objetivos foram quantificar a ocorrência de granizadas em escalas mensal, sazonal e anual; testar o ajuste de função e estimar as probabilidades de ocorrência ao longo do ano e por estação do ano; e correlacionar a probabilidade de ocorrência de granizadas com fatores meteorológicos. Para tanto, a opção foi o uso de séries longas e atualizadas de dados provenientes de estações meteorológicas convencionais, que apesar das limitações inerentes à forma de coleta dos dados, é a base de dados observados disponível e usualmente utilizada para verificação dos métodos de estimativa.

2. METODOLOGIA

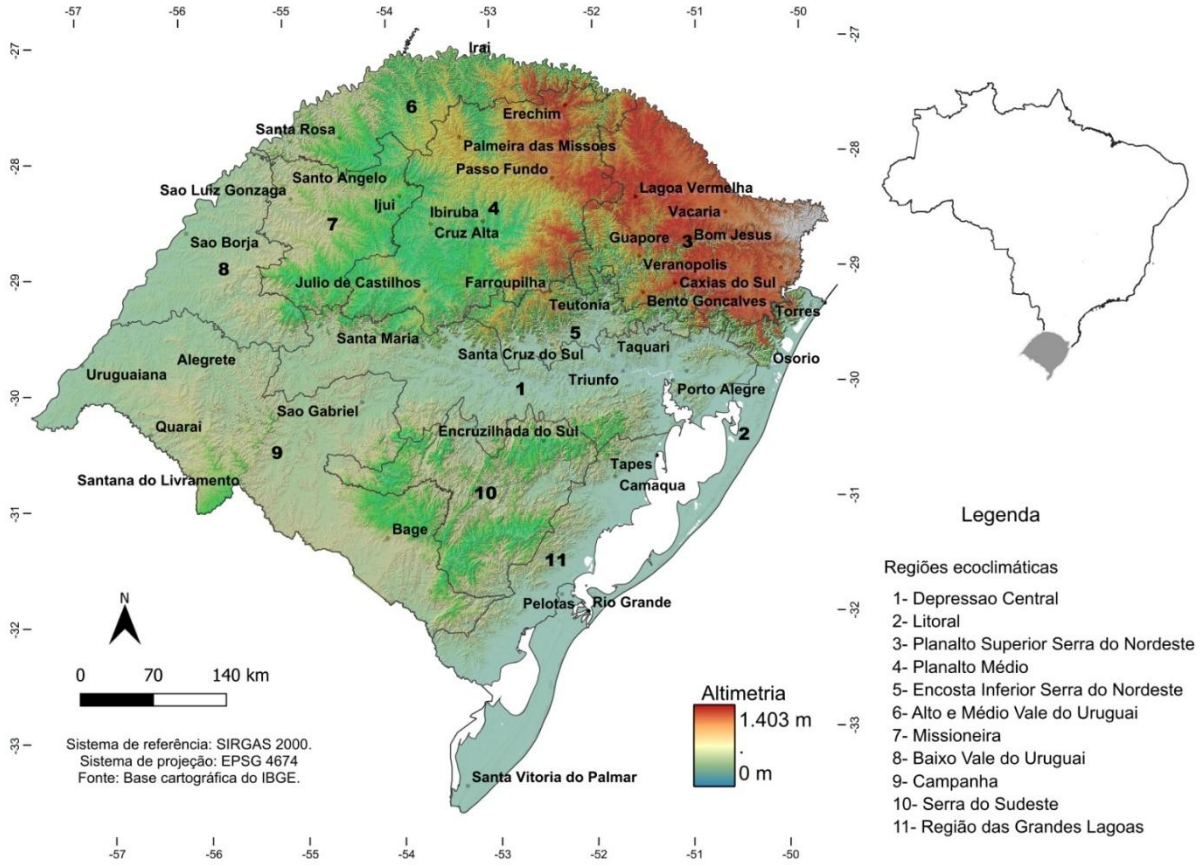
2.1. Área de estudo

A área de estudo abrangeu o Estado do Rio Grande do Sul, no qual predominam, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2013), os tipos climáticos Cfa e Cfb, subtropical úmido, sem estação seca, com invernos quentes (mês mais quente T≥22 ºC) e amenos (mês mais quente T≤22 ºC), respectivamente. As normais climatológicas 1991-2020 (INMET, 2025) mostram que a média anual de precipitação pluvial no RS é de 1.660 mm, com maior volume ocorrendo na metade norte do RS, mas com alta variabilidade interanual em todo o Estado. A temperatura do ar média anual é de 18,7 ˚C, com amplitude de cerca de 10 ˚C entre o inverno (mais frio) e o verão (mais quente), sendo marcante sua associação com o relevo, em que as menores temperaturas ocorrem nas áreas de maior altitude ao longo de todo o ano.

2.1. Dados

Foram utilizados dados diários de ocorrência de precipitação de granizo provenientes de 43 estações meteorológicas convencionais (Figura 1) pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (6° DISME/INMET) e ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) / SEAPI (Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação), distribuídas no Estado, abrangendo o período de 1944 a 2022. Devido às falhas de observações, as séries históricas variaram de 20 a 79 anos (Tabela 1). O total de eventos de granizo ocorrido no conjunto de dados avaliados neste estudo (o que foi registrado em todos os anos e estações meteorológicas) foi 3.599 granizadas.

Figura 1 - Regiões Ecoclimáticas e estações meteorológicas selecionadas para as análises sobrepostas ao mapa de altimetria do Estado do Rio Grande do Sul.



2.2. Análises

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e calculadas as estatísticas de números máximo e médio de ocorrência de granizo em periodicidade mensal, sazonal e anual, para cada estação meteorológica. Nas análises sazonais, foram considerados os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; março, abril e maio; junho, julho e agosto; e setembro, outubro e novembro, como correspondentes à estação do verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Foi também testado o ajuste da função teórica de distribuição de Poisson para a probabilidade de ocorrência de granizo em cada estação meteorológica para os períodos anual e sazonal. A função de probabilidade de Poisson é dada por (Assis et al., 1996):

$$pr(x) = \frac{(\bar{x})^x e^{-\bar{x}}}{x!} \qquad Eq.1$$

essa função associa probabilidades (*pr*) para todos os possíveis números de ocorrência de granizadas (*x*), inclusive zero (não ocorrência). Por convenção, *0!* = 1; *e* = 2,71868... é a base do logaritmo natural. O único parâmetro da equação (1) é a média ($\bar{x}$).

Para avaliação da aderência dos dados observados à função teórica proposta, foi utilizado o teste de qui-quadrado (χ^2), assumindo um nível de significância de α = 0,10, dado por (Assis et al., 1996):

$$\chi^2 = \sum_{1}^{k} \left[\frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \right] \qquad Eq.2$$

na qual *k* é o número de classes, Fo_i é a frequência observada e Fe_i é a frequência esperada.

Inicialmente foi feita a análise considerando todos os eventos ocorridos no Estado, os quais foram representados em diagramas de caixa para a probabilidade de ocorrência de uma ou mais granizadas no período anual e sazonal. Para o período com maior probabilidade de ocorrência de granizadas foram elaborados mapas do tipo símbolos pontuais proporcionais, para representar a distribuição espacial da probabilidade de ocorrência de uma ou mais granizadas.

Tabela 1 - Regiões Ecoclimáticas e Estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas (LAT latitude, LONG longitude, ALT altitude e CONT continentalidade), instituição fonte e número de anos utilizados (N) de ocorrência de granizadas. Período: 1944 a 2022.

Região Ecoclimática	Localidade	LAT	LONG	ALT	CONT	*Fonte	N
Alto e médio do Vale Uruguai	Iraí	-27,183	-53,233	222	6,883	INMET	59
	Santa Rosa	-27,850	-54,417	268	7,400	INMET	29
Baixo Vale do Uruguai	São Borja	-28,650	-56,000	99	8,183	INMET	71
Campanha	Alegrete	-29,683	-55,517	121	6,667	INMET/SEAPI	37
	Bagé	-31,350	-54,100	216	3,583	INMET	72
	Quaraí	-30,383	-56,433	100	6,883	SEAPI	28
	Sant Livramento	-30,883	-55,533	210	5,483	INMET/SEAPI	55
	São Gabriel	-30,167	-54,317	124	4,983	INMET/SEAPI	74
	Uruguaiana	-29,750	-57,083	74	8,167	INMET/SEAPI	60
Depressão Central	Campo bom	-29,667	-51,067	22	2,233	INMET	25
	Cachoeira do Sul	-30,033	-52,883	17	3,683	INMET	23
	Porto Alegre	-30,017	-51,217	10	2,033	INMET	78
	Santa Maria	-29,700	-53,700	95	4,833	INMET/SEAPI	69
	Taquari	-29,800	-51,817	76	2,850	INMET	70
	Triunfo	-29,933	-51,700	31	2,600	INMET	25
Encosta inferior - Serra do Nordeste	Santa Cruz do Sul	-29,717	-52,417	58	3,533	INMET	20
	Teutônia	-29,450	-51,817	47	3,200	INMET	24
Litoral	Osório	-29,667	-50,217	14	1,383	SEAPI	36
	Rio Grande	-32,017	-52,083	5	0,900	INMET/SEAPI	78
	Santa Vitoria Palmar	-33,517	-53,350	5	0,667	INMET	65
	Torres	-29,333	-49,717	6	1,217	INMET	64
Missioneira	Ijuí	-28,383	-53,900	448	6,350	SEAPI	29
	Santo Ângelo	-28,300	-54,250	277	6,783	INMET	28
	São Luiz Gonzaga	-28,383	-54,967	260	7,417	INMET	76
Planalto médio	Cruz Alta	-28,633	-53,600	472	5,800	INMET/SEAPI	71
	Erechim	-27,617	-52,267	760	5,483	SEAPI	25
	Ibirubá	-28,650	-53,117	400	5,300	INMET	25
	Júlio de Castilhos	-29,217	-53,667	520	5,283	SEAPI	29
	Palmeira Missões	-27,883	-53,433	629	6,383	INMET	23
	Passo Fundo	-28,250	-52,400	667	4,983	INMET	75
Planalto superior - Serra do Nordeste	Bento Gonçalves	-29,250	-51,517	610	3,100	INMET	67
	Bom Jesus	-28,667	-50,433	1047	2,600	INMET	55
	Cambará do Sul	-29,050	-50,150	978	1,933	INMET	25
	Caxias do Sul	-29,167	-51,200	787	2,867	INMET/SEAPI	45
	Farroupilha	-29,233	-51,433	702	3,033	SEAPI	29
	Guaporé	-28,917	-51,900	471	3,817	INMET	25
	Lagoa Vermelha	-28,417	-51,583	815	4,000	INMET	57
	Vacaria	-28,550	-50,700	960	2,983	INMET/SEAPI	66
	Veranópolis	-28,933	-51,550	705	3,450	SEAPI	61
Região das Grandes Lagoas	Camaquã	-30,808	-51,834	29	1,860	INMET/SEAPI	25
	Pelotas	-31,867	-52,350	7	1,317	INMET	61
	Tapes	-30,833	-51,583	10	1,583	INMET	26
Serra do sudeste	Encruzilhada do Sul	-30,533	-52,517	427	2,817	INMET/SEAPI	73

* Instituição Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e SEAPI (Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação).

A continentalidade (distância do mar) foi determinada em função da latitude e longitude, com base na linha reta paralela à costa do RS, tendo sido utilizada a expressão ajustada para o Rio Grande do Sul por Simões (2015), dada por:

$$Cont = -Lon + \left\{\left[Lat - (-28)) * \left(\frac{-48-(-53)}{-28-(-34)}\right)\right]\right| + (-48)\right\} \qquad Eq\ 3$$

na qual *Cont* é a continentalidade, e a *Lon* e *Lat* são a longitude e a latitude do local, todos expressos em graus decimais.

A partir desses dados foi procedida uma análise de correlação entre a probabilidade de ocorrer 01 (uma) ou mais granizadas e os atributos geográficos: altitude, latitude, longitude e continentalidade e testada a significância por Pearson (p>0,9). Por fim, foram elaborados gráficos de colunas com as probabilidades de não ocorrer granizadas (P0) e as probabilidades de ocorrer uma ou mais (P1+), duas ou mais (P2+), três ou mais (P3+) granizadas, na qual os dados foram separados por Região Ecoclimática.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Estatísticas básicas

Como o granizo é reconhecidamente um evento raro, com baixa frequência de ocorrência, ao analisar uma série histórica de dados disponível, o número mais frequente foi o zero, ou seja, a não ocorrência. Em função disso, os valores médios da série de dados foram muito baixos e pouco diferenciam as regiões e épocas com maior ocorrência. Optou-se então por avaliar o número máximo de ocorrências para cada estação meteorológica ao longo de toda a série em estudo, partindo do pressuposto que o número máximo ocorrido em algum período da série é adequado para representar o risco do local quanto à ocorrência de granizadas (Tabela 2).

Verifica-se, na análise mensal, que o número máximo de granizadas variou de 1 a 6 eventos (Caxias do Sul em agosto), sendo que considerando todo do Estado (todos os locais e anos), a média foi de 1 e 2 eventos por mês (Tabela 2). Quando se analisou os dados acumulados no intervalo anual (Tabela 3), o número máximo observado foi de 12 granizadas em um ano, em Lagoa Vermelha, com uma média de 6 eventos anuais, quando avaliado todo o Estado.

Tabela 2 - Número máximo de ocorrência de granizadas, por mês, em estaçoes meteorológicas do Rio Grande do Sul. Período 1944 a 2022.

REGIÃO ECOCLIMÁTICA	LOCAL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alto e médio do Vale Uruguai	Iraí	1	2	2	2	1	1	2	2	2	3	2	2
	Santa Rosa	1	2	1	1	1	2	2	3	3	2	2	1
Baixo Vale do Uruguai	São Borja	1	1	2	1	1	1	2	3	2	1	1	3
Campanha	Alegrete	1	2	1	2	3	1	2	2	2	2	2	2
	Bagé	1	0	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1
	Quaraí	0	1	1	3	2	1	3	3	2	1	2	1
	Sant do Livramento	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2
	São Gabriel	1	1	1	2	1	1	2	2	4	3	2	1
	Uruguaiana	1	1	2	2	1	1	1	2	2	3	1	1
Depressão Central	Campo bom	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	0	2
	Cachoeira do Sul	1	2	1	0	2	1	2	5	2	1	1	1
	Porto Alegre	1	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
	Santa Maria	3	1	1	1	1	1	2	2	3	2	1	2
	Taquari	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1
	Triunfo	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
Encosta inferior - Serra do Nordeste	Santa Cruz do Sul	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1
	Teutônia	0	2	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Litoral	Osório	1	1	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1
	Rio Grande	1	1	1	1	1	1	2	4	1	2	1	1
	Sta Vit do Palmar	1	1	0	1	1	2	3	2	1	2	1	1
	Torres	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Missioneira	Ijuí	0	1	0	1	1	0	3	3	2	1	2	1
	Santo Ângelo	1	1	0	1	1	1	2	3	2	2	1	2
	São Luiz Gonzaga	2	1	1	1	5	2	5	3	4	4	1	2
Planalto médio	Cruz Alta	3	4	1	1	2	2	4	3	3	3	2	3
	Erechim	2	2	1	1	2	2	2	2	3	4	3	1
	Ibirubá	1	0	2	0	0	1	0	1	1	2	0	0
	Júlio de Castilhos	2	0	2	0	1	1	2	2	3	1	2	1
	Pal das Missões	1	1	0	0	1	0	2	3	2	1	1	1
	Passo Fundo	3	2	1	2	3	1	4	2	4	3	2	2
Planalto superior - Serra do Nordeste	Bento Gonçalves	2	1	2	1	1	1	2	3	3	4	2	2
	Bom Jesus	2	3	3	2	2	2	2	4	4	3	2	2
	Cambará do Sul	1	1	0	0	2	1	2	1	3	1	1	1
	Caxias do Sul	4	2	1	1	3	1	2	6	3	3	3	2
	Farroupilha	1	0	0	1	1	1	2	4	2	2	1	1
	Guaporé	2	2	3	1	2	2	1	3	4	2	1	2
	Lagoa Vermelha	5	2	2	2	1	2	3	4	3	4	2	1
	Vacaria	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2
	Veranópolis	3	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	2
Região das Grandes Lagoas	Camaquã	2	1	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1
	Pelotas	1	1	1	1	0	2	1	1	2	1	2	1
	Tapes	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2
Serra do sudeste	Encruzilhada do Sul	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	2
MÉDIA ESTADO DO RS		**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**

Tabela 3 - Número máximo de ocorrência de granizadas, anual e sazonal, em estaçoes meteorológicas do Rio Grande do Sul. Período 1944 a 2022.

REGIÃO ECOCLIMÁTICA	LOCAL	VER	OUT	INV	PRIM	ANO
Alto e médio do Vale Uruguai	Iraí	2	2	2	5	7
	Santa Rosa	2	2	3	6	9
Baixo Vale do Uruguai	São Borja	1	3	3	3	6
Campanha	Alegrete	3	3	2	3	6
	Bagé	1	2	3	3	4
	Quaraí	1	2	5	3	6
	Sant do Livramento	2	2	3	4	7
	São Gabriel	1	2	2	7	8
	Uruguaiana	2	2	3	4	4
Depressão Central	Campo bom	3	1	4	2	7
	Cachoeira do Sul	2	2	5	2	4
	Porto Alegre	5	1	4	7	11
	Santa Maria	4	1	4	3	6
	Taquari	2	2	3	2	4
	Triunfo	1	1	1	1	2
Encosta inferior - Serra do Nordeste	Santa Cruz do Sul	2	2	3	3	6
	Teutônia	2	1	1	1	3
Litoral	Osório	1	0	1	2	2
	Rio Grande	1	2	4	2	5
	Sta Vitória do Palmar	1	2	4	2	5
	Torres	2	2	2	1	3
Missioneira	Ijuí	1	2	4	3	5
	Santo Ângelo	2	1	4	3	7
	São Luiz Gonzaga	3	5	6	4	8
Planalto médio	Cruz Alta	5	2	6	5	10
	Erechim	3	1	3	6	10
	Ibirubá	1	2	2	2	5
	Júlio de Castilhos	2	2	5	3	7
	Palmeira das Missões	1	1	3	2	4
	Passo Fundo	4	3	4	5	10
Planalto superior - Serra do Nordeste	Bento Gonçalves	3	2	4	4	9
	Bom Jesus	3	4	5	6	10
	Cambará do Sul	1	2	3	3	6
	Caxias do Sul	4	3	6	4	8
	Farroupilha	2	1	4	4	6
	Guaporé	3	3	3	5	8
	Lagoa Vermelha	7	2	6	6	12
	Vacaria	3	2	3	3	5
	Veranópolis	3	1	3	4	8
Região das Grandes Lagoas	Camaquã	2	1	2	3	6
	Pelotas	2	1	2	3	5
	Tapes	4	1	2	2	7
Serra do sudeste	Encruzilhada do Sul	2	2	2	3	5
MÉDIA ESTADO DO RS		**2**	**2**	**3**	**3**	**6**

PRIM – primavera; VER- verão; OUT – outono e VER – verão

Como basta uma granizada para causar grandes prejuízos em diversos setores de atividade (Allen et al., 2020), é importante caracterizar o padrão de distribuição das ocorrências no tempo e no espaço, especialmente nas grandes regiões de produção agropecuária, visando a caracterização de riscos. Em termos de características temporais, verificou-se que o período de maior ocorrência de granizadas foi de julho a outubro (2 granizadas). Essa tendência ratifica estudos anteriores no Estado do RS realizados com séries mais curtas de dados provenientes de estações meteorológicas (Berlato et al., 2000 e Martins et al., 2017).

A maior ocorrência de granizadas nos meses de transição do inverno para a primavera, possivelmente, esteja associada às frentes meteorológicas mais intensas e ao rápido aquecimento do continente que ocorre na primavera causando movimentos convectivos (Berlato et al., 2000). Durante a passagem de uma frente fria (frente: sistema atmosférico definido como a zona de contato entre duas massas de ar com diferentes propriedades termodinâmicas: temperatura e densidade), a temperatura decresce rapidamente, a pressão atmosférica atinge seu mínimo, há ocorrência de ventos com direções variáveis e com rajadas, além do aumento na intensidade da precipitação devido ao desenvolvimento de nuvens com maior extensão vertical. Corroborando essa hipótese, Nogueira et al. (2024) verificaram que é na primavera, seguido do inverno, que se verifica o maior número médio de sistemas frontais registrados no Rio Grande do Sul (14 e 13, respectivamente). As junções das frentes e dos sistemas convectivos determinam vigorosa elevação de massas de ar relativamente mais quentes e úmidas, condições propícias à formação das nuvens de grande desenvolvimento vertical (cumulonimbus), que são as nuvens que dão origem ao granizo (Allen et al., 2020). Também na União Européia (Hulton e Schultz, 2023; Kahraman et al., 2024), nos Estados Unidos (Laviola et al., 2022) e China (Li et al., 2018) o período de transição entre inverno e verão tem sido apontado como o mais favorável para a ocorrência de granizadas.

3.2. Probabilidades

Para a agricultura, melhor do que o conhecimento de médias e/ou máximos valores dos diferentes elementos meteorológicos, é o conhecimento das probabilidades de ocorrência

dos eventos adversos (Berlato et al., 2000). As probabilidades fornecem índices de chance de ocorrência de determinados níveis ou valores críticos de fenômenos meteorológicos, o que é de grande utilidade no planejamento no setor. Uma das vantagens de utilização das distribuições teóricas em relação aos histogramas de frequência observada está no fato de que essas distribuições preenchem as lacunas que podem existir nas ocorrências observadas (Assis et al., 1996).

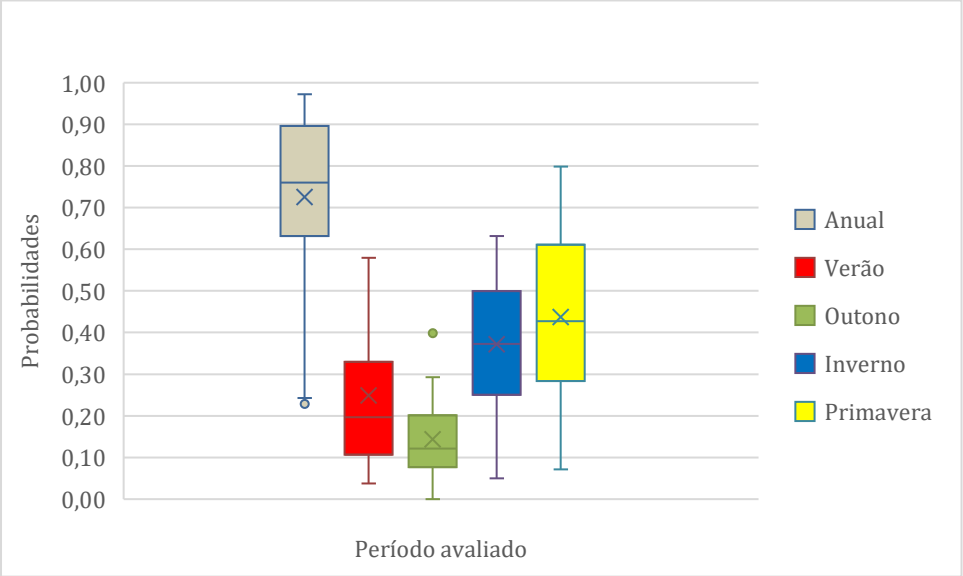
De acordo com o teste de aderência utilizado ($\chi 2$ – qui-quadrado) e o nível de significância estatística estabelecido (10%), das 43 estações meteorológicas estudadas no presente estudo, houve ajuste à função de distribuição de Poisson em 41 na primavera, 40 no inverno, 31 no outono e 27 no verão. No período anual, as 43 estações meteorológicas analisadas se ajustaram à distribuição de Poisson, ratificando a adequação desta função para descrever a probabilidade de ocorrência de granizo no Estado do RS (Berlato et al., 2000). Dada a adequação à distribuição de Poisson, foi então possível aplicá-la na quantificação da probabilidade de ocorrência de granizadas nas diferentes Regiões Ecoclimáticas do RS. Esse é um dado extremamente útil para as estratégias de planejamento na agricultura, especialmente no zoneamento agrícola de risco climático (ZARC), como subsídio para efeito de seguro agrícola e ainda, pode orientar projetos que visem a proteção dos cultivos dessa adversidade climática. Grande parte das adversidades climáticas não podem ser evitadas. Entretanto, podem-se identificar padrões espaciais e temporais desses eventos com o intuito de aprimorar métodos preventivos para a redução dos efeitos destrutivos dos mesmos (Alcántara-Ayala, 2002).

Considerando todo o território do Estado, verifica-se que em 90% dos anos, a probabilidade de ocorrer pelo menos um (01) evento ao longo do ano (caixa cinza) variou de 0,64 a 0,90 (Figura 2), ou seja, é mais provável a ocorrência de pelo menos 1 granizada ao longo do ano em todo o RS do que de não ocorrer. A Figura 3A mostra, também para o período anual, a variabilidade das probabilidades utilizando um mapa de símbolos pontuais proporcionais, no qual pode se observar que os símbolos foram maiores no norte do Estado, indicando maior probabilidade de ocorrência deste fenômeno adverso quando comparado à porção sul do RS.

Mas também foram verificadas diferenças importantes na ocorrência de granizadas entre as estações do ano (variabilidade temporal). Confirmando a tendência observada nos

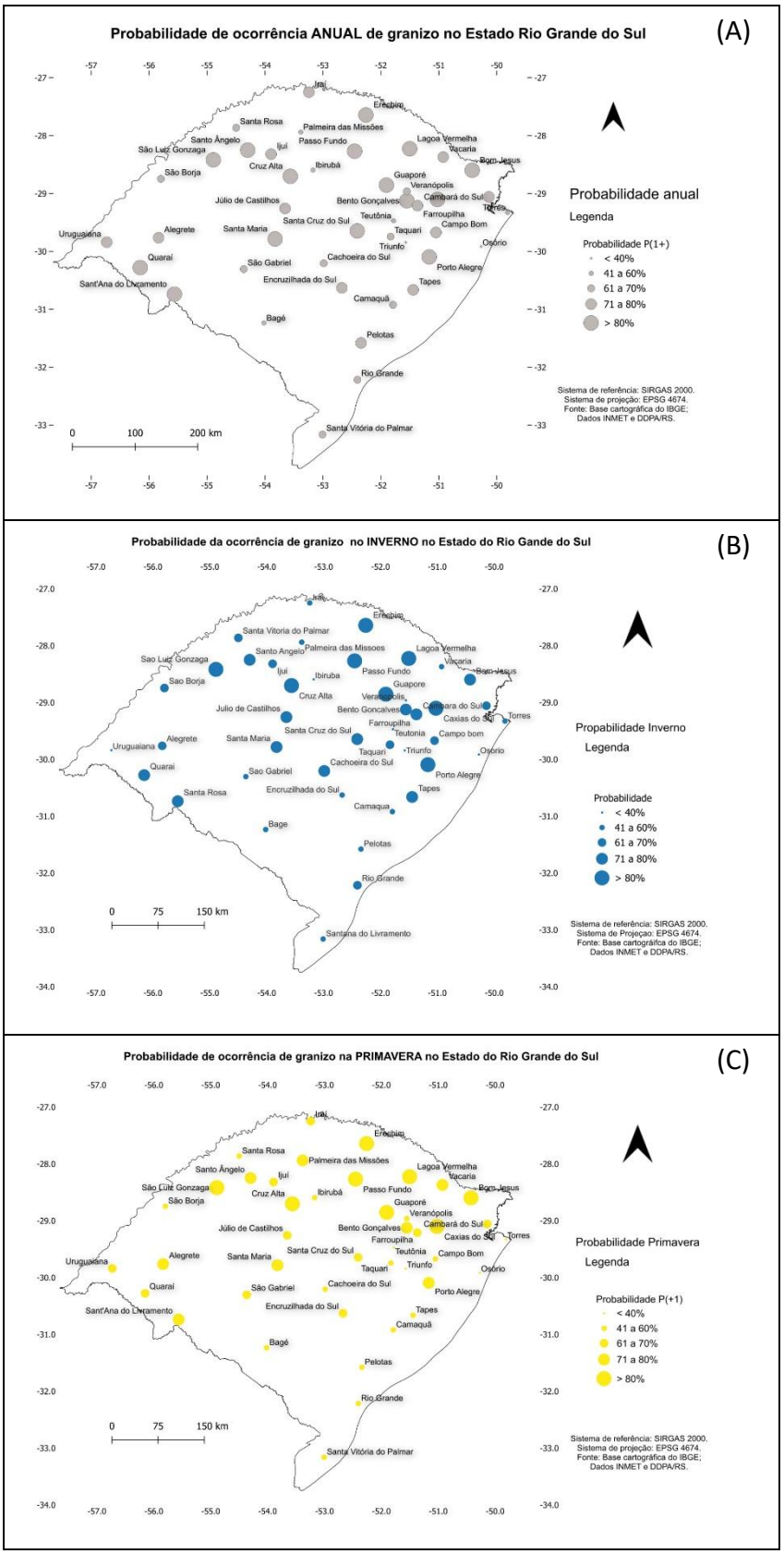
valores máximos médios (Tabelas 2 e 3), verifica-se que a primavera, seguido do inverno, foram as estações com maior probabilidade de ocorrência deste fenômeno adverso. O outono foi a estação de menor risco de ocorrência em todo o Estado na qual as probabilidades de ocorrência de uma ou mais granizadas por ano foram baixas: em 90% dos anos a probabilidade de ocorrer ao menos 1 evento foi inferior a 0,20 (Figura 2).

Figura 2 - Diagrama de caixas da probabilidade de ocorrência de 1 ou mais ganizadas (P1+), nos períodos anual e sazonal (verão, outono, inverno e primavera), no Estado do Rio Grande do Sul. Período: 1944 a 2022. *A linha cheia horizontal e o símbolo no interior das caixas representam o percentil 50 (mediana) e média, respectivamente, o final das caixas os percentis 25 e 75, as barras os percentis 10 e 90 e os círculos cheios os valores extremos*.



A distribuição espacial das granizadas no inverno e na primavera no RS foi similar à observada no período anual (Figura 3B e C), com maiores probabilidades no norte, em especial no período da primavera, e probabilidades muito baixas no sul do Estado. A série mais longa analisada no presente trabalho confirmou também o padrão de localização espacial dos eventos, assim como observado por Berlato et al. (2000), Martins et al. (2017); Caldana et al. (2019a).

Figura 3 -. Mapa de símbolos pontuais proporcionais da probabilidade de ocorrência de uma ou mais granizadas P(1+) para os períodos anual (A) e para as estações do inverno (B) e primavera (C) no RS. Período: 1944 a 2022.



Estudos desenvolvidos em diversas regiões do mundo têm demonstrado que fatores como altitude, latitude, longitude e continentalidade influenciam o mecanismo de formação de nuvens cumulusnimbos e, portanto, na formação e queda do granizo. Martins et al. (2017) e Li et al (2018), entre outros, verificaram que a latitude é o fator meteorológico melhor correlacionado com a ocorrência de granizo, no caso das regiões estudadas por esses autores.

Para as condições específicas do RS, o fator altitude foi o melhor correlacionado (Tabela 4). O coeficiente de correlação (r) expressa a intensidade e a direção da relação entre duas variáveis. O valor positivo de r indicou que, à medida que a altitude aumenta, também se eleva a probabilidade de ocorrência do fenômeno no Estado. Em locais de maior altitude foi maior a probabilidade de ocorrência de 1 ou mais granizadas, especialmente na primavera (P(1+); r=0,53) e, também, foi onde se observou o maior número de ocorrência de máximos, destacando-se as Regiões Ecoclimáticas do Planalto Superior - Serra do Nordeste e do Planalto Médio. Nessas Regiões em nenhuma localidade o número anual foi inferior a 4 granizadas, sendo a média das ocorrências de máximos absolutos iguais a 8 granizadas no ano (Tabela 3).

Mas a latitude (P(1+);r=0,47) e a continentalidade (P(1+); r=0,34) também mostraram correlações significativas na primavera. Quanto mais ao norte do Estado e locais com certa distância do mar, foi maior a probabilidade de ocorrer granizadas. A correlação com latitude é consistente e muito encontrada em diferentes regiões climáticas no mundo (Li et al., 2018), já com continentalidade pouco consta na literatura. No Brasil possivelmente a maior probabilidade de ocorrência de granizadas na Região Sul esteja relacionado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que carrega para essa Região a umidade proveniente da Amazônia.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação entre a probabilidade de ocorrência de uma ou mais granizadas (P(0) a P(3+)) e as coordenadas geográficas das estações meteorológicas em análise, para os períodos anual e sazonal. Período: 1944 a 2022.

Período		Altitude	Latitude	Longitude	Continentalidade
Anual	P(0)	-0,42	-0,32	0,12	-0,29
	P(1+)	0,42	0,32	-0,12	0,29
	P(2+)	0,46	0,40	-0,01	0,25
	P(3+)	0,48	0,43	0,07	0,19
	P(4+)	0,49	0,42	0,13	0,14
	P(5+)	0,49	0,40	0,16	0,10
Verão	P(0)	-0,44	-0,38	-0,28	0,01
	P(1+)	0,44	0,38	0,28	-0,01
	P(2+)	0,41	0,33	0,27	-0,03

Período		Altitude	Latitude	Longitude	Continentalidade
	P(3+)	0,39	0,28	0,27	-0,05
Outono	P(0)	-0,29	-0,21	-0,08	-0,06
	P(1+)	0,29	0,21	0,08	0,06
	P(2+)	0,36	0,22	0,14	0,02
	P(3+)	0,39	0,20	0,18	-0,03
Inverno	P(0)	-0,37	-0,25	0,12	-0,25
	P(1+)	0,37	0,25	-0,12	0,25
	P(2+)	0,38	0,32	-0,05	0,23
	P(3+)	0,39	0,36	-0,02	0,23
Primavera	P(0)	-0,53	-0,47	0,08	-0,34
	P(1+)	0,53	0,47	-0,08	0,34
	P(2+)	0,53	0,49	0,03	0,27
	P(3+)	0,52	0,46	0,09	0,19

Correlação acima de 0,40 é significativo a 99% probabilidade
Correlação acima de 0,30 é significativo a 95% probabilidade
Correlação acima de 0,20 é significativo a 90% probabilidade
Correlação não significativa

Nas Figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as probabilidades de ocorrência de um ou mais eventos (P(1+),.,P(n+)) e da não ocorrência (P(0)) de granizadas por Região Ecoclimática para o período anual e para as duas estações do ano de maior frequência de ocorrência (primavera e inverno). No período anual foi muito baixa a probabilidade de não ocorrer granizadas em todas as regiões avaliadas, sendo que a mais baixa, P(0)=0,028, ocorreu no Planalto Médio, mas com diversas Regiões com P(0) abaixo de 0,3.

Figura 4 - Probabilidade de ocorrência de granizadas, por Região Ecoclimática do Estado do RS, para o período ANUAL. Período: 1944 a 2022.

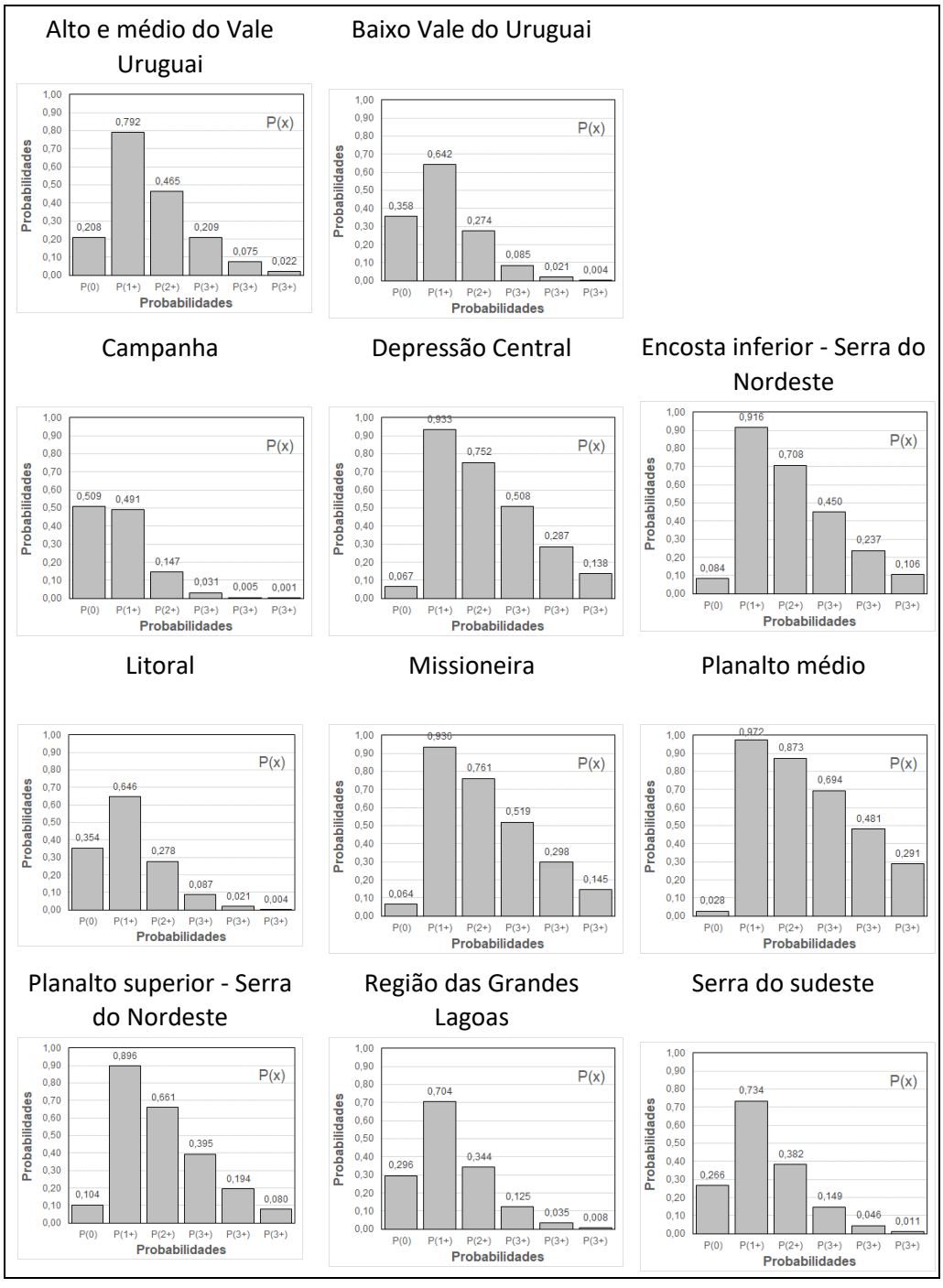


Figura 5 - Probabilidade de ocorrência de granizadas, por Região Ecoclimática do Estado do RS, para a estação do **INVERNO**. Período: 1944 a 2022.

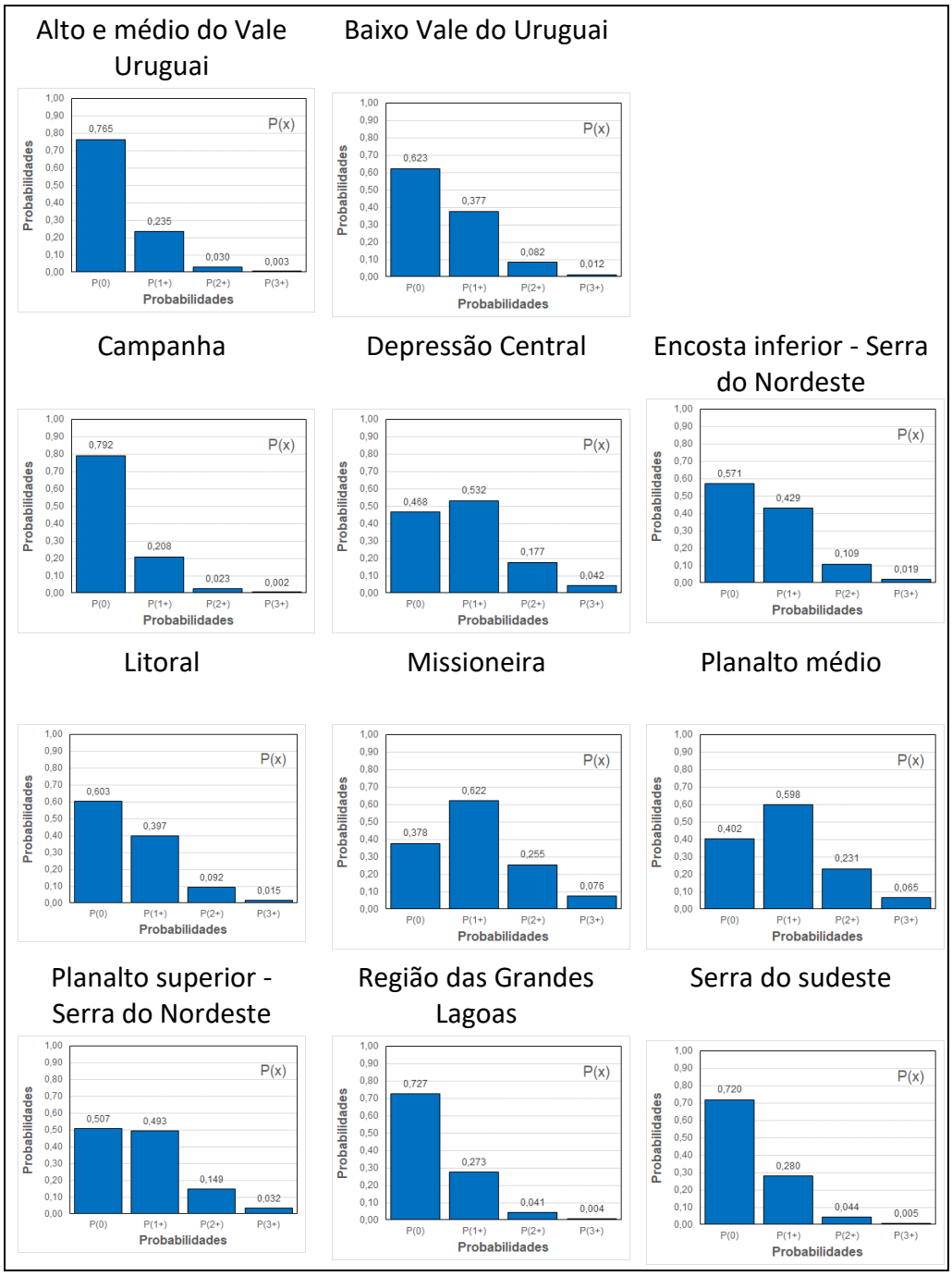
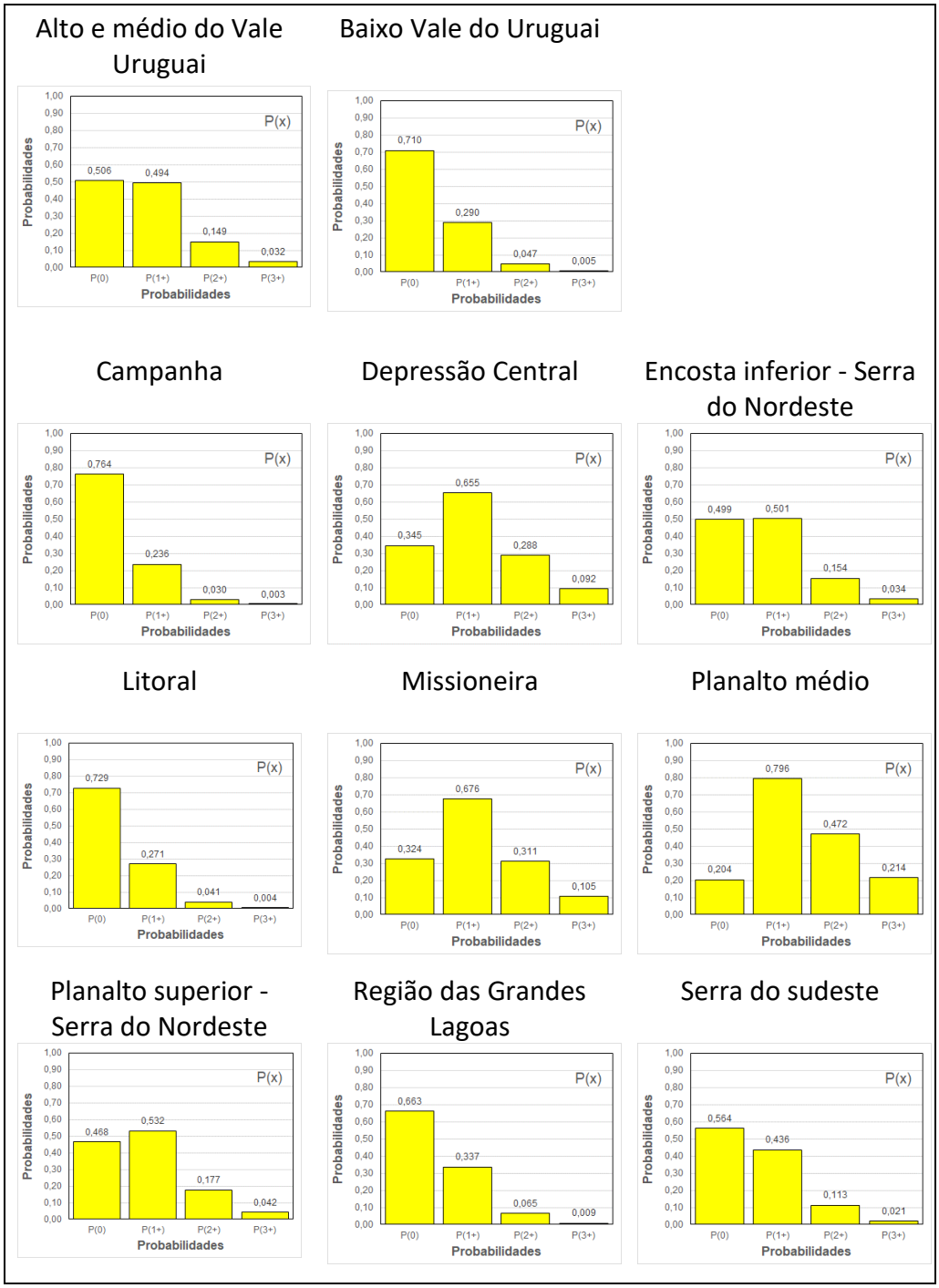


Figura 6 - Probabilidade de ocorrência de granizadas, por região ecoclimática do Estado do RS, para a estação da **PRIMAVERA**. Período: 1944 a 2022.



A Campanha foi a região com maior probabilidade de não ocorrer (P(0)=0,509), o que é coerente com a sua localização mais ao sul do Estado e com baixas altitudes. Nas áreas altas do norte do RS observou-se que foi no Planalto Médio que ocorreu a maior probabilidade (0,972) de ocorrer uma ou mais granizadas (P+1) e de 0,291 de ocorrer quatro ou mais (P4+) granizadas no ano.

Na primavera e inverno a probabilidade de ocorrência de ao menos uma granizada (P1+) foi maior do que a probabilidade de não ocorrência (P0) desse fenômeno nas Regiões Ecoclimáticas do Planalto Médio, Missioneira e Depressão Central. Essas são regiões de maior altitude e/ou continentalidade, cujos efeitos na incidência de granizo já foram mencionados.

As Regiões Ecoclimáticas de menor probabilidade de ocorrência do fenômeno foram as regiões do Litoral, das Grandes Lagoas, Campanha e Baixo Vale do Uruguai, que são regiões de menores altitudes e, especialmente as duas primeiras estão sujeitas à ação termorreguladora do Oceano Atlântico (menor continentalidade).

Como no presente estudo foram analisados dados de granizadas oriundos de estações meteorológicas convencionais do Estado, que conforme já mencionado registram somente parte dos eventos ocorridos, as informações obtidas tendem a subestimar a real ocorrência desse fenômeno no RS. Por outro lado, pesquisas anteriores têm apontado a coerência na caracterização no espaço e no tempo da ocorrência do fenômeno quando do uso de forma complementar de diferentes tipos de bases de dados de granizadas (Martins et al., 2017; Caldana et al., 2019a). Assim, apesar da limitação inerente à base utilizada no presente trabalho, e que os riscos associados à ocorrência de granizadas no RS são maiores do que a dimensionada, os resultados obtidos são de grande utilidade para delimitar os períodos do ano e as regiões do Estado do RS com maior probabilidade de ocorrência de granizadas e, portanto, orientar as estratégias de prevenção e de mitigação deste fenômeno adverso.

Também importantes são os estudos relacionados à verificação de tendências e variabilidades nas séries históricas de granizadas, em diversas regiões, seja frente às mudanças climáticas em curso (Allen et al., 2009; Laviola et al., 2022;), ou frente a eventos de grande escala, como o El Niño Oscilação Sul (Allen et al., 2015). Entretanto, conforme Hulton e Schultz (2023) é necessária cautela na interpretação dessas análises, dada as diferenças significativas no parâmetro avaliado (número de dias, intensidade, diâmetro...) e no tratamento dos dados de granizadas nos diferentes países do mundo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram utilizados dados de ocorrência de granizadas obtidos a partir de estações meteorológicas convencionais no Rio Grande do Sul, cuja extensão da série (1944 a 2020) se mostrou adequada e suficiente para caracterizar de forma consistente os padrões de distribuição desse evento adverso no tempo e no espaço. Alerta-se, entretanto, que as informações geradas estão subestimadas em relação ao número de eventos que de fato acontecem, dado que somente parte dos mesmos ocorre próximo às estações e são contabilizados pelo observador meteorológico.

O granizo é um evento raro, em que no cálculo de probabilidade de ocorrência no RS, assim como nas análises de risco, recomenda-se a aplicação da função teórica de distribuição de Poisson, dado que essa distribuição se ajusta à maior parcela dos dados das diferentes regiões do RS e períodos avaliados. É, ainda, um evento localizado, associado à formação de nuvens cumulusnimbus, e que os mecanismos formadores desse tipo de nuvem podem definir a distribuição no tempo e no espaço das granizadas.

Em relação ao padrão no tempo, o fortalecimento dos mecanismos de formação das nuvens cumulusnimbus na transição do inverno para a primavera, torna esse o período mais favorável ao evento. Tanto os valores médios e/ou máximo, como a probabilidade de ocorrência é maior na primavera, seguido do inverno.

Em relação ao padrão no espaço, a ocorrência de granizadas mostram associação com as características do terreno que são relevantes à formação das cumulusnimbus. As regiões do RS mais altas, distantes do mar e mais ao norte, apresentam maior probabilidade de ocorrências de granizadas. Em todas as estações do ano, mas especialmente na primavera, a altitude é o fator de maior correlação, seguido pela latitude e continentalidade. Na primavera, nas localidades ao norte do Estado a probabilidade de ocorrer uma ou mais granizadas é maior do que 70%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a pronta e gratuita disponibilização dos dados de ocorrência de granizadas às instituições públicas responsáveis pela coleta dos mesmos (INMET - Instituto Nacional de Meteorologia e SEAPI - Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação).

Agradecimento especial ao CNPq pela concessão de bolsa de Pesquisa à primeira autora, assim como a CAPES pelas bolsas de mestrado às alunas vinculadas ao PPG Fitotecnia e PPG Sensoriamento remoto, UFRGS.

REFERÊNCIAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, n. 2-4, p. 107–124. 2002.

ALLEN, J.T., GIAMMANCO, I. M., KUMJIAN, M. R., PUNGE, H. J., ZHANG, Q., GROENEMEIJER, P., et al. Understanding hail in the Earth system. **Reviews of Geophysics**, 58, e2019RG000665. https://doi.org/10.1029/2019RG000665. 2020.

ALLEN, J.T.; TIPPETT, M.K.; SOBE, A.H. Influence of the El Niño/Southern Oscillation on tornado and hail frequency in the United States. **Nature Geoscience**, vol 8. 2015. www.nature.com/naturegeoscience.

ALVARES, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728. 2013.

ASSIS, F.N. DE, ARRUDA, H.V., PEREIRA, A.R. Aplicações de estatística à climatologia. **Teoria e Prática**. Pelotas: Ed. da UFPel, 161 p. 1996.

ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 126p. 2013.

BERLATO, M.A., MELO, R.W., FONTANA, D.C. Risco de ocorrência de granizo no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 8, 121–132. 2000.

CALDANA, N. F. S.; RUDKE, A.P.; SILVA, G. M. F.; NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H. et al. Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. **Caderno de Geografia**, Goiânia, v. 29, p. 61-80. 2019 (a).

CALDANA, N. F. S.; SILVA, G. M. F.; MARTELÓCIO, A. C.; NITSCHE, P. R.; CARAMORI, P. H. Caracterização das ocorrências de precipitação de granizo e seus impactos socioeconômicos no estado do Paraná. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.271-284. 2019 (b).

HULTON, F. AND SCHULTZ, D. M.: Climatology of Large Hail in Europe: Characteristics of the European Severe Weather Database, **EGUsphere** [preprint], https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-176. 2023.

INMET, 2024. **Normais climatológicas** 1991-2020. https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em fevereiro/2025.

KAHRAMAN, A.; ELIZABETH J. KENDON, E.J.; FOWLER, H.J. Climatology of severe hail potential in Europe based on a convection-permitting simulation. **Climate Dynamics** 62:6625–6642. 2024. https://doi.org/10.1007/s00382-024-07227-w.

LAVIOLA, S.; MONTE, G.; CATTANI, E.; LEVIZZANI, V. Hail. Climatology in the Mediterranean Basin Using the GPM Constellation (1999–2021). **Remote Sensing**, v.14, n.4320. 2022. https://doi.org/10.3390/rs14174320.

LI, X., Q. ZHANG, T. ZOU, J. LIN, H. KONG, AND Z. REN. Climatology of Hail Frequency and Size in China, 1980–2015. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, n.57, 875–887. 2018. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0208.1.

MARTINS, J. A. et al. Climatology of destructive hailstorms in Brazil. **Atmospheric Research**, Boulder, v. 184, p. 126-138. 2017.

MURILLO, E. M., C. R. HOMEYER, AND J. T. ALLEN, J.T. A 23-Year Severe Hail Climatology Using GridRad MESH Observations. **Monthly Weather Review**, 149, 945–958. 2021. https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0178.1.

Nogueira, N. C. de O., Machado, P. H. G., & Reboita, M. S. (2024). Estudo Climatológico das Frentes Frias atuantes no Sul do Rio Grande do Sul e no Sul de Minas Gerais entre 2009 e 2021. **Revista Brasileira De Climatologia**, 34(20), 306–334. https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.16664

PLEN, A.F. E HOLLAND, G.J. 2018. Global estimates of damaging hail hazard. **Weather and Climate Extremes** 22: 10–23. 2018. https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.10.004.

SIMÕES, D. S. **Ambiente físico e meteorológico para análise do risco de geada**. 2015. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.