

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE GEADAS NO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 2003-2018

Ivonete Fatima Tazzo

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária/Secretaria da Agricultura Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, Porto Alegre, RS, Brasil
ivonetetazzo@gmail.com

Gustavo Trentin

Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS, Brasil
gustavo.trentin@embrapa.br

Loana Silveira Cardoso

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária/Secretaria da Agricultura Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, Porto Alegre, RS, Brasil
loana-cardoso@agricultura.rs.gov.br

Amanda Heemann Junges

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária/Secretaria da Agricultura Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação, Veranópolis, RS, Brasil
amandahjunges@gmail.com

RESUMO

A geada é um fenômeno meteorológico frequente no estado do Rio Grande do Sul (RS), que causa impactos negativos na produção agropecuária. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a distribuição espacial e temporal de geadas no RS por meio de dados (data de ocorrência e intensidade) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos municípios de Bagé, Uruguaiiana, Bom Jesus, Caxias do Sul, Passo Fundo, São Luiz Gonzaga, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar, de março a novembro na série 2003 a 2018. No período ocorreram, no total, 1.712 geadas, com média de 107 por ano e variação anual entre 58 (2017) a 161 (2007). Espacialmente, variou de 6,5% (São Luiz Gonzaga) a 20,4% (Bom Jesus), com maiores registros no inverno (81%), seguido do outono (13%) e primavera (6%). Em todos os anos, com exceção de 2010, e locais (exceto Uruguaiiana) apresentaram maior ocorrência de geadas precoces (outono). Quanto à intensidade, 47% das geadas ocorridas no período foram fracas, 24% moderadas e 29% fortes. A maior possibilidade de ocorrências de geadas foi para Bom Jesus (211 dias com 90% de possibilidade) e a menor foi para Uruguaiiana (108 dias).

Palavras-chave: Ocorrência de geadas. Regiões ecoclimáticas do RS. Estações do ano. Intensidade de geada.

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FROST EVENTS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL BETWEEN 2003 AND 2018

ABSTRACT

Frost is a frequent meteorological phenomenon in the state of Rio Grande do Sul (RS), with negative impacts on agricultural production. This study aimed to characterize the spatial and temporal distribution of frost events in RS using data (date of occurrence and intensity) from the National Meteorological Institute (INMET) in the municipalities of Bagé, Uruguaiiana, Bom Jesus, Caxias do Sul, Passo Fundo, São Luiz Gonzaga, Santa Maria, and Santa Vitória do Palmar, from March to November in the 2003 to 2018 series. There were a total of 1,712 frosts in the period, with an average of 107 per year, and an annual variation between 58 (2017) and 161 (2007). Spatially, it ranged from 6.5% (São Luiz Gonzaga) to 20.4% (Bom Jesus), with the highest records in winter (81%), followed by fall (13%) and spring (6%). In all years, except 2010, the locations (except for Uruguaiiana) showed the highest occurrence of early frosts (fall). In terms of intensity, 47% of the frosts during the period were weak, 24% moderate, and 29% strong. The highest possibility of frost occurrence was in Bom Jesus (211 days with a 90% possibility) and the lowest was in Uruguaiiana (108 days).

Keywords: Frost occurrence. Ecoclimatic regions in RS. Seasons. Intensity of frost.

INTRODUÇÃO

Na área da meteorologia, define-se a ocorrência de geada quando há deposição de gelo sobre plantas e objetos expostos ao relento, o que ocorre sempre que a temperatura atinge 0°C e a atmosfera apresenta umidade. Em agronomia, entende-se geada como o fenômeno atmosférico que provoca danos ou a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caule, frutos, ramos), em função da baixa temperatura do ar, que acarreta congelamento dos tecidos vegetais, havendo ou não formação de gelo sobre as plantas (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002).

Quanto ao aspecto visual, existem dois tipos de geadas: geadas brancas, que se caracterizam pela formação de gelo sobre as superfícies; e geadas negras, que se caracterizam pelo congelamento da água no interior das células das plantas, ocasionando a necrose dos tecidos vegetais (SNYDER e MELO-ABREU, 2005). Em locais situados em médias e altas latitudes, a agricultura torna-se uma atividade de risco durante o inverno, por causa das baixas temperaturas do ar (PEREIRA, ANGELOCCI e SENTELHAS, 2002), que causam perdas econômicas na produção agrícola (BRAGA *et al.*, 2021), principalmente no sul do Brasil. Para as culturas agrícolas, os danos associados às geadas são irreversíveis, em razão de estresses por congelamento (BERGAMASCHI e BERGONCI, 2017); esses danos, no entanto, dependem de características inerentes às plantas e, no que se refere à geada em si, do número de dias consecutivos com geadas e da intensidade das mesmas (AGUIAR e MENDONÇA, 2004).

A Região Sul do Brasil é frequentemente afetada pela passagem de massas de ar polar provenientes da Antártica (CARDOZO; REBOITA e GARCIA, 2015). Segundo esses autores, quando essas massas encontram ar mais quente das latitudes menores ocorre a formação de frentes frias, ocasionando precipitação e decréscimo da temperatura do ar, e dependendo da intensidade da massa de ar frio na retaguarda da frente fria, pode ocorrer geadas após sua passagem num determinado local. Segundo Andrade (2005), a passagem de sistemas frontais frios pelo Brasil pode ocasionar geadas de intensidades moderadas a fortes nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

No Brasil, as geadas são mais comuns no período entre abril e setembro, sendo mais críticas em junho e julho, indicando que o risco de ocorrência tem relação com a altitude e a latitude do local; entretanto, para o Rio Grande do Sul (RS), verificou-se correlação fraca com esses elementos, atribuindo uma ação decisiva a dinâmica das massas de ar sobre a distribuição térmica e pluviométrica no estado, conferindo maior influência da entrada de frentes frias e massas polares vindas do sul (WREGGE *et al.*, 2018).

No RS, os meses que compõem o inverno climatológico (junho-julho-agosto) são os que apresentam maior probabilidade de ocorrência de geadas, sendo a probabilidade de ocorrência de geadas tardias (na primavera) maior do que a de precoces (no outono) (OLIVEIRA, 1997). No entanto, verificou-se forte tendência de aumento da temperatura mínima no RS, no período de 1936-2000, principalmente no verão e na primavera (BERLATO e ALTHAUS, 2010; BERLATO e CORDEIRO, 2017). Outros estudos que analisaram o período de 1986-2002, verificaram maior registro de geadas tardias em anos de La Niña (BERLATO e CORDEIRO, 2017).

As perdas na agropecuária gaúcha em decorrência de geadas são grandes, com quebras de safra de cultivo de cereais de inverno (trigo, aveia, cevada e canola), em frutíferas de clima temperado (uva, pêssego, ameixa, nectarina etc.) e impactos indiretos na pecuária, como perda de escore corporal e produção de leite, em razão do menor crescimento de pastagens. Junges e Fontana (2009) verificaram que no RS a principal causa de quebra de safra das culturas de cereais de inverno está associada aos eventos meteorológicos, especialmente à ocorrência de geadas no período de florescimento das cultivares, com temperaturas mínimas do ar próximas ou inferiores a -2°C; e excesso de precipitação pluvial no período de enchimento de grãos, maturação fisiológica e colheita (quebras de safra superiores a 10% da produção). Os registros de geadas ocorridas no ano de 2006 causaram quebra de safra de trigo, de 23% em relação à média das safras anteriores (JUNGES *et al.*, 2007).

Estudos para a identificação das características climáticas em uma determinada região e localidade possibilitam maior entendimento, caracterização e análise de eventos extremos, tais como as geadas, auxiliando no planejamento agrícola com base nos acontecimentos históricos (VAREJÃO-SILVA, 2006; YNOUE *et al.*, 2017; BUENO *et al.*, 2020). Os estudos locais de caracterização e variabilidade climática promovem melhor entendimento das relações entre agricultura e clima (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009), sendo fundamentais para a geração de informações mais adaptadas às atividades agrícolas desenvolvidas em cada município ou região (JUNGES, 2018). Neste sentido, verificar a distribuição e

a variabilidade das geadas ocorridas no estado do Rio Grande do Sul em série recente de dados é de suma importância no auxílio da minimização das perdas decorrentes do evento. O objetivo deste trabalho é caracterizar a distribuição espacial e temporal de ocorrência de geadas no estado do Rio Grande do Sul na série histórica de 2003 a 2018.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados de ocorrência de geada das estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do estado do Rio Grande do Sul, a partir de observação visual do observador meteorológico, e classificadas como geada fraca (tipo 1) pequenos pontos de geada visual; geada moderada (tipo 2) toda superfície coberta com geada, e geada forte (tipo 3) toda superfície coberta e formação visível de cristais de gelo (INMET, 1999).

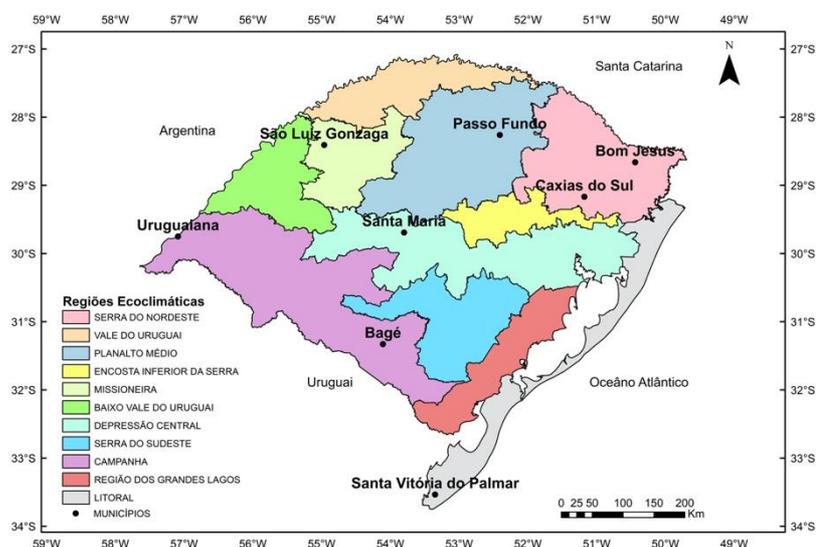
Utilizaram-se dados de oito locais, distribuídos em seis regiões ecoclimáticas do estado, de acordo com classificação de Maluf e Caiaffo (2001) (Tabela 1; Figura 1), nos meses de março a novembro da série 2003 a 2018. O mapa adaptado com as regiões ecoclimáticas do estado foi feito através do software ArcGIS 10.8.2.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas, altitude e regiões ecoclimáticas das estações meteorológicas avaliadas

Estação	Região ecoclimática	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)
Bagé	Campanha	242	31°23'38"	53°55'32"
Uruguaiana	Campanha	74	29°50'22"	57°05'51"
Bom Jesus	Serra do Nordeste	1048	28°40'10"	50°26'25"
Caxias do Sul	Serra do Nordeste	785	29°08'31"	50°59'12"
Passo Fundo	Planalto Médio	676	28°14'35"	52°24'11"
São Luiz Gonzaga	Missioneira	245	28°32'27"	54°58'18"
Santa Maria	Depressão Central	95	29°40'54"	53°54'35"
Santa Vitória do Palmar	Litoral	24	33°31'14"	53°21'47"

Fonte: Maluf e Caiaffo (2001); INMET (2023). Organização: Os autores, 2023.

Figura 1 - Mapa do Rio Grande do Sul com a localização dos municípios avaliados



Fonte: Adaptado de Maluf e Caiaffo (2001). Elaboração: Os autores, 2023.

Considerando que as geadas ocorrem no estado especialmente no outono, inverno e primavera (MACHADO, 1950), os dados foram avaliados considerando-se a delimitação climatológica das estações adotada por demais autores: meses março-abril-maio (outono), junho-julho-agosto (inverno) e setembro-outubro-novembro (primavera) (FOLHES e FISH; 2006, BERLATO e CORDEIRO, 2017; JUNGES, 2018).

Os dados foram avaliados em termos de estatísticas descritivas, no âmbito estadual e local (análise espacial), quanto às frequências e porcentagens de ocorrência temporal (ano e estação do ano) e de intensidade do fenômeno, utilizando o programa estatístico R (v.4.1.1).

Para a análise temporal foi verificada a distribuição das geadas nos meses do ano; para verificar a ocorrência de geadas precoces ou tardias em cada local nos diferentes anos realizou-se a determinação da primeira e da última geada para cada ano e local. Com os dados obtidos foi determinada a possibilidade mínima, média e máxima de ocorrência da primeira e da última geada para o período do estudo para cada local.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Rio Grande do Sul, considerando a série avaliada (2003 - 2018) ocorreram, no total, 1.712 geadas, com média de 107 por ano e variação anual entre 58 (em 2017) e 161 (em 2007), perfazendo 3,4% e 9,4% do total de geadas ocorridas na série 2003-2018, respectivamente (Tabela 2). Esses resultados reforçam a variabilidade interanual da ocorrência de geadas no estado já identificada por demais autores (AGUIAR e MENDONÇA, 2004; BERLATO e ALTHAUS, 2010; JUNGES, 2018), em decorrência de vários fatores como entrada de massas de ar frio (número e intensidade) (CARDOZO; REBOITA e GARCIA, 2015; WREGE *et al.*, 2018;) e fenômenos oceânico-atmosféricos, como El Niño Oscilação Sul (ENOS) (AGUIAR e MENDONÇA, 2004; FIRPO *et al.*, 2011) e Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM) ou Oscilação Antártica (PIZZOCHERO, 2018).

Na análise espacial, o total de ocorrências de geadas variou entre 112, em São Luiz Gonzaga, perfazendo 6,5% do total ocorrido no período e 360, em Bom Jesus, perfazendo 20,4% (Tabela 2), resultados estes coerentes com as características das regiões ecoclimáticas do estado. O RS se caracteriza pela variabilidade climática, em função da atuação de diversos sistemas atmosféricos, onde os sistemas polares são os grandes dinamizadores dos climas do estado (WREGE *et al.*, 2018; ROSSATO, 2020). São Luiz Gonzaga, localizado no noroeste do estado, foi o município com o menor número de geadas (Tabela 2), corroborando com os obtidos por Rossato (2011), analisando o período de 1931-2007 e Wrege *et al.* (2018), no período de 1976-2005, em que essa região (Noroeste) e o litoral norte apresentaram os menores números de dias com geadas. Ainda, segundo esses autores a região Sudoeste, estendendo-se um pouco ao centro e ao nordeste, apresentou os maiores números de dias com geada ao mês; mais uma vez de acordo com os resultados obtidos nesse estudo, pois Bagé e Santa Maria (região Central) apresentaram as maiores frequências de geada, juntamente com Bom Jesus na região Nordeste (Tabela 2).

Streck *et al.* (2011) verificaram que, em período de 40 anos em Santa Maria, ocorreram 724 geadas, com média de 18 geadas por ano, valor semelhante ao encontrado nesse trabalho com 16 geadas por ano. Bagé, situado a 200 metros (m) de altitude, apresentou um número relativamente elevado de geadas, corroborando com Wrege *et al.* (2018) que afirmaram que, pela maior latitude deste município, o risco de ocorrência de geadas é maior do que 66% (7 anos em 10 anos) em análise de maio a setembro. Segundo esses autores, no RS existe alto risco de ocorrência de geada em regiões com altitude inferior à altitude média do estado (417m) se comparado a outros estados, em virtude de o estado estar situado na porção mais meridional do sul do país, em latitudes maiores, e estar sujeito à entrada de frentes frias vindas do sul; pois a região da Campanha é por onde ocorrem, com maior frequência, as entradas de massa de ar frio no estado. Matzenauer *et al.* (2005) verificaram que as regiões no estado do RS com maior número de horas de frio são Serra do Nordeste, Planalto Médio, Planalto Superior e Campanha; mesmo a Campanha apresentando menor altitude, isso ocorre pela ocorrência de maior frequência de entradas de massa de ar frio.

Em Caxias do Sul ocorreu 8,3% das geadas, inferior a Passo Fundo (13,2%) e Santa Vitória do Palmar (10,1%) no período analisado (Tabela 2), com resultados semelhantes aos obtidos por Rossato (2011). A região Leste, representada, neste trabalho, por Uruguaiana, teve 11,2% de ocorrência de geadas (Tabela 2); Wrege *et al.* (2018) identificaram essa região com alta probabilidade de ocorrência desse fenômeno pela latitude e por ser a região de entrada de frentes de ar frio.

A distribuição temporal das geadas nas estações do ano indicou o inverno com o maior número de eventos (1.381 geadas, ou 81% do total), seguido por outono (13%) e primavera com 6% (Tabela 1). No inverno, a maior parte das geadas (595) ocorreu em julho, seguido de junho (460) e agosto (326) (Figura 2). Dessa maneira, o mês central do trimestre que define o inverno climatológico destacou-se pelas geadas ocorridas, o que já era esperado em função deste ser o mês no qual ocorrem as menores temperaturas mínimas do ar (MATZENAUER *et al.*, 2011; WREGGE *et al.*, 2012;). No outono, a maioria das geadas (197) ocorreu no mês de maio; e na primavera, a maioria no mês de setembro (100) (Tabela 2). Esses resultados indicam maior ocorrência de geadas precoces do que tardias, resultado oposto do verificado por Oliveira (1997), estudando o período de 1944 a 1993 e Berlato e Althaus (2010), no período de 1936-2000. Entretanto, alguns estudos constataram forte tendência de aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, principalmente no verão e na primavera (BERLATO e ALTHAUS, 2010; BERLATO e CORDEIRO, 2017). Também, Berlato e Cordeiro (2017) verificaram que em anos de La Niña ocorre maior registro de geadas tardias. Neste sentido, analisando a ocorrência desse fenômeno no período deste estudo, constata-se que no trimestre set/out/nov (primavera) registraram-se seis eventos El Niño e cinco de La Niña, enquanto no trimestre mar/abril/maio (outono) registraram-se apenas dois El Niño e quatro La Niña (NOAA, 2023).

Tabela 2 - Frequência (Freq.) e porcentagem (Por. em %) de ocorrência de geadas em oito locais do Rio Grande do Sul, na série 2003 a 2018, por ano; intensidade e estação do ano

ANO																		
LOCAL	Bagé		Bom Jesus		Caxias do Sul		Passo Fundo		Santa Maria		São Luiz Gonzaga		Santa Vitória do Palmar		Uruguaiana		Total-Anual	
Ano	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por
2003	19	7,6	29	8,3	9	6,3	20	8,8	15	5,6	8	7,1	17	9,8	10	5,2	127	7,4
2004	14	5,6	23	6,6	8	5,6	18	8	13	4,9	7	6,3	10	5,8	10	5,2	103	6,0
2005	12	4,8	17	4,9	3	2,1	12	5,3	7	2,6	4	3,6	6	3,5	10	5,2	71	4,1
2006	20	8	29	8,3	11	7,7	19	8,4	16	6	9	8	18	10,4	16	8,3	138	8,1
2007	40	16	27	7,7	12	8,5	19	8,4	21	7,9	8	7,1	14	8,1	20	10,4	161	9,4
2008	23	9,2	26	7,4	5	3,5	17	7,5	10	3,7	3	2,7	8	4,6	15	7,8	107	6,3
2009	21	8,4	25	7,1	9	6,3	12	5,3	29	10,9	7	6,3	18	10,4	22	11,5	143	8,4
2010	15	6	13	3,7	5	3,5	10	4,4	16	6	9	8	8	4,6	14	7,3	90	5,3
2011	15	6	22	6,3	14	9,9	14	6,2	20	7,5	12	10,7	12	6,9	16	8,3	125	7,3
2012	15	6	22	6,3	13	9,2	17	7,5	23	8,6	7	6,3	16	9,2	13	6,8	126	7,4
2013	16	6,4	22	6,3	11	7,7	14	6,2	23	8,6	7	6,3	13	7,5	3	1,6	109	6,4
2014	15	6	19	5,4	10	7	9	4	20	7,5	6	5,4	7	4	4	2,1	90	5,3
2015	3	1,2	16	4,6	4	2,8	5	2,2	13	4,9	3	2,7	13	7,5	2	1	59	3,4
2016	12	4,8	21	6	13	9,2	20	8,8	12	4,5	12	10,7	3	1,7	13	6,8	106	6,2
2017	3	1,2	16	4,6	9	6,3	6	2,7	6	2,2	3	2,7	7	4	8	4,2	58	3,4
2018	7	2,8	23	6,6	6	4,2	14	6,2	23	8,6	7	6,3	3	1,7	16	8,3	99	5,8
Total	250	14,6	350	20,4	142	8,3	226	13,2	267	15,6	112	6,5	173	10,1	192	11,2	1712	100

INTENSIDADE (%)

LOCAL	Bagé		Bom Jesus		Caxias do Sul		Passo Fundo		Santa Maria		São Luiz Gonzaga		Santa Vitória do Palmar		Uruguaiana		Total-Anual	
Intens.	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por
Fraca	128	51,2	146	41,7	78	54,9	114	50,2	122	45,7	56	50	118	68,2	49	25,5	810	47
Moderada	47	18,8	76	21,7	24	16,9	57	25,3	82	30,7	35	31,3	38	22	44	22,9	403	24
Forte	75	30	128	36,6	40	28,2	55	24,4	63	23,6	21	18,8	17	9,8	99	51,6	498	29
Total	250	100	350	100	142	100	226	100	267	100	112	100	173	100	192	100	1712	100

ESTAÇÃO DO ANO																		
LOCAL	Bagé		Bom Jesus		Caxias do Sul		Passo Fundo		Santa Maria		São Luiz Gonzaga		Santa Vitória do Palmar		Uruguaiana		Total-Anual	
Estação do Ano	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por	Freq	Por
Inverno	205	82	243	69,4	110	77,5	168	74,3	228	85,4	100	89,3	154	89	173	90,1	1381	80,7
Outono	31	12,4	75	21,4	18	12,7	39	17,3	24	9	8	7,1	13	7,5	12	6,3	220	12,9
Primavera	14	5,6	32	9,1	14	9,9	19	8,4	15	5,6	4	3,6	6	3,5	7	3,6	111	6,5
Total	250	100	350	100	142	100	226	100	267	100	112	100	173	100	192	100	1712	100

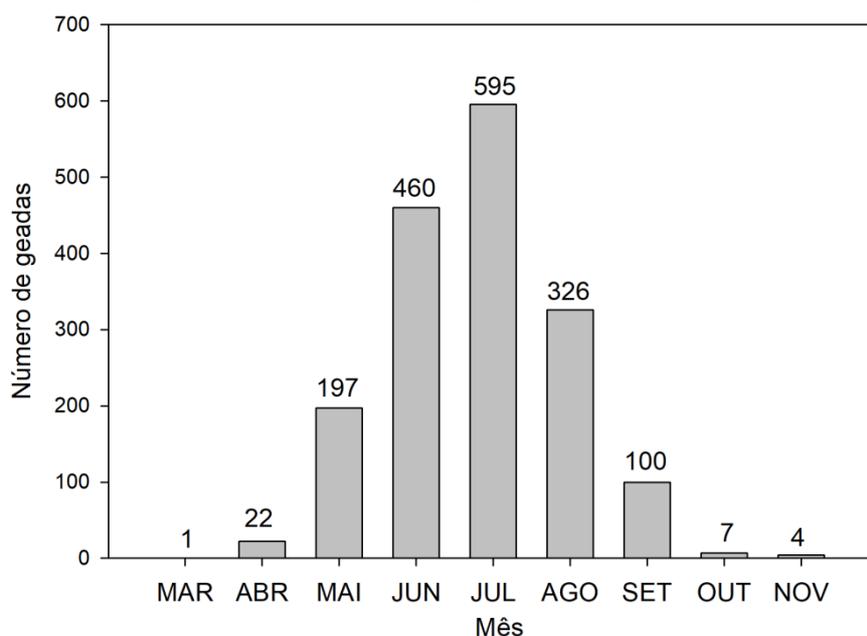
Fonte: Elaborados pelos autores, 2023

Esse resultado é importante, pois indica que o final do outono (maio) e o início da primavera (setembro) também devem ser considerados períodos críticos para ocorrência deste evento adverso à agricultura: geadas precoces (no outono) e tardias (na primavera), mesmo ocorrendo com menor frequência, podem causar perdas na produção agropecuária. As geadas precoces podem comprometer culturas de primavera-verão que ainda estejam a campo, principalmente o milho safrinha e o feijão segunda safra, quando coincidindo principalmente com o período de floração destas culturas. O crescimento do feijoeiro pode ser afetado pela última geada da primavera e pela primeira geada do outono (MASSIGNAM *et al.*, 1998). Geadas precoces também reduzem o crescimento das pastagens e impactam negativamente na produção de forrageiras para consumo animal. Por outro lado, geadas tardias impactam negativamente cereais de inverno, mesmo estes apresentando resistência a baixas temperaturas do ar e a ocorrência de geadas no período vegetativo; pois, a sensibilidade ao frio e os maiores danos ocorrem no período crítico das culturas (emborrachamento, espigamento, floração e início de enchimento de grãos) (CUNHA; HAAS e ASSAD, 1999), bem como frutíferas de clima temperado que iniciam brotação/florescimento no final do inverno/início de primavera e podem ser afetados negativamente por geadas tardias (ASSMANN *et al.*, 2008; RICCE *et al.*, 2021; SANTOS; SILVA e MELO, 2020). Segundo Charrier *et al.* (2015), o risco de danos causados pela geada aumenta quando a probabilidade de uma determinada temperatura de congelamento coincidir com a maior sensibilidade da planta à geada; por isso, durante o ciclo anual de crescimento e dormência, os períodos de transição no outono e na primavera são os mais arriscados.

Para a cultura do trigo a sensibilidade aumenta a partir do início do emborrachamento e atinge nível máximo no espigamento/florescimento, diminuindo após os estádios de grão em massa mole e grão em massa dura (CUNHA *et al.*, 2009). A canola é sensível à geada no início do estabelecimento das plantas (até, aproximadamente 30 dias após a emergência), além do florescimento e no início do enchimento de grãos (DALMAGO *et al.*, 2009). Para frutíferas de clima temperado: geadas na primavera podem causar perdas no período de brotação das videiras, dada a maior susceptibilidade dos tecidos jovens ao congelamento. No estágio de desenvolvimento fenológico da videira, de início do intumescimento da gema, a videira pode resistir até -3,5°C e, na de gema algodão, a até -1,1°C. No início do crescimento dos brotos, pode resistir até -0,5°C, sendo que, a partir destes estádios iniciais, não suporta temperaturas inferiores a 0°C (MANDELLI; MIELE e TONIETTO, 2009). Para macieiras,

as geadas nos meses de setembro e outubro, períodos críticos para a cultura, são extremamente prejudiciais, motivo pelo qual as cultivares são muito precoces, e florescem em períodos de maior risco de geadas, por isso devem ser evitadas (NACHTIGALL; FIORAVANÇO e HOFFMAN, 2009). Para pessegueiros, geadas e baixas temperaturas do ar afetam negativamente a cultura quando as plantas se encontram no estágio fenológico de maior sensibilidade (fruto com endocarpo não endurecido e diâmetro inferior a 30 mm), no momento da ocorrência da geada (ASSMANN *et al.*, 2008).

Figura 2 - Distribuição das geadas nos meses do ano (março a novembro), no período de 2003 a 2018 no Rio Grande do Sul



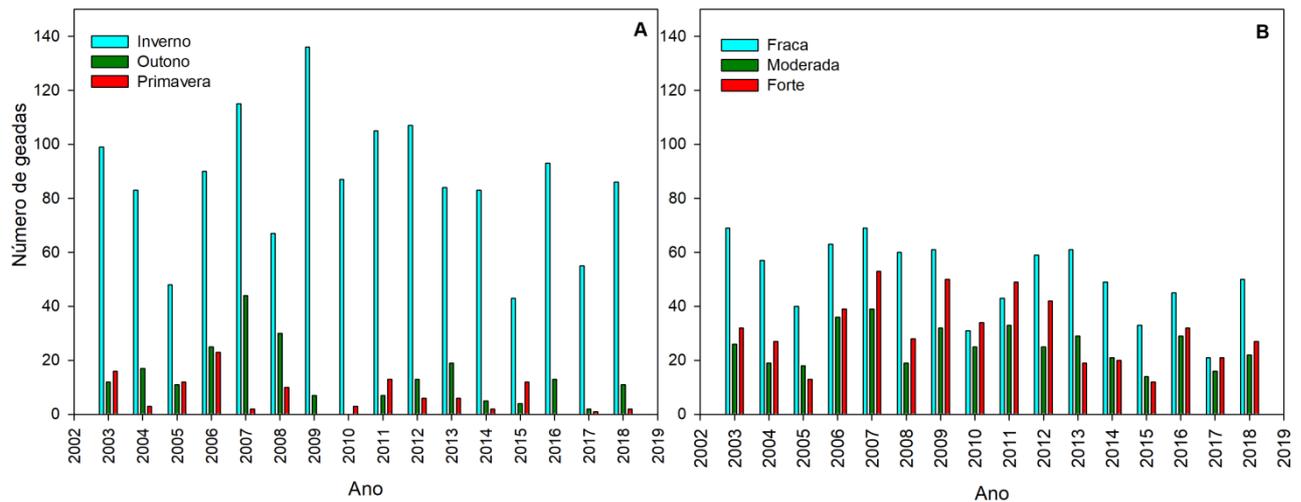
Fonte: Elaborados pelos autores, 2023.

É importante salientar que, em algumas estações analisadas (Bom Jesus, Passo Fundo e Caxias do Sul) a distribuição das geadas nas estações do ano se diferenciou em relação às demais (Tabela 2), com redução do percentual ocorrido no inverno e aumento no outono e na primavera (Tabela 2). Essa diferenciação provavelmente se deve pela maior altitude desses municípios (1.046 m, 687 m e 817 m, respectivamente), uma vez que a maior altitude favorece a perda de radiação noturna e, conseqüentemente, a redução das temperaturas mínimas noturnas (AGUIAR e MENDONÇA, 2004).

Quanto à variabilidade estacional das ocorrências de geadas na série analisada (Figura 3), os invernos com maiores frequências de ocorrência de geadas foram em 2009, 2010 e 2014, enquanto os menores foram em 2005, 2006 e 2008 (Figura 3A). De 2004 a 2008 e em 2013 foi registrado maior número de geadas no outono. Neste sentido, destaque para 2008, indicando uma situação de outono frio, com favorecimento às geadas precoces. Por sua vez, 2005, 2006 e 2015 se destacaram pelas geadas tardias (primavera). Esses resultados são importantes para caracterização dos impactos deste evento adverso às culturas agrícolas, especialmente em anos nos quais se observa alteração do padrão predominante (maior parte das geadas no inverno).

Quanto às intensidades das geadas ocorridas na série avaliada, 47% foram fracas (810 geadas), 24% moderadas (403) e 29% fortes (498) (Tabela 1). Em todos os anos analisados, as geadas de intensidade fraca são mais recorrentes, com exceção de 2010 e 2011 com maior número de geadas de intensidade forte e 2017 com o mesmo número de geadas fracas e fortes (Figura 3B); nesses três anos também se verifica que as geadas de intensidade moderada também foram maiores.

Figura 3 - Frequência de geadas ocorridas no outono, inverno e primavera (A) e Intensidade de geadas (B) no período de 2003 a 2018, no Rio Grande do Sul

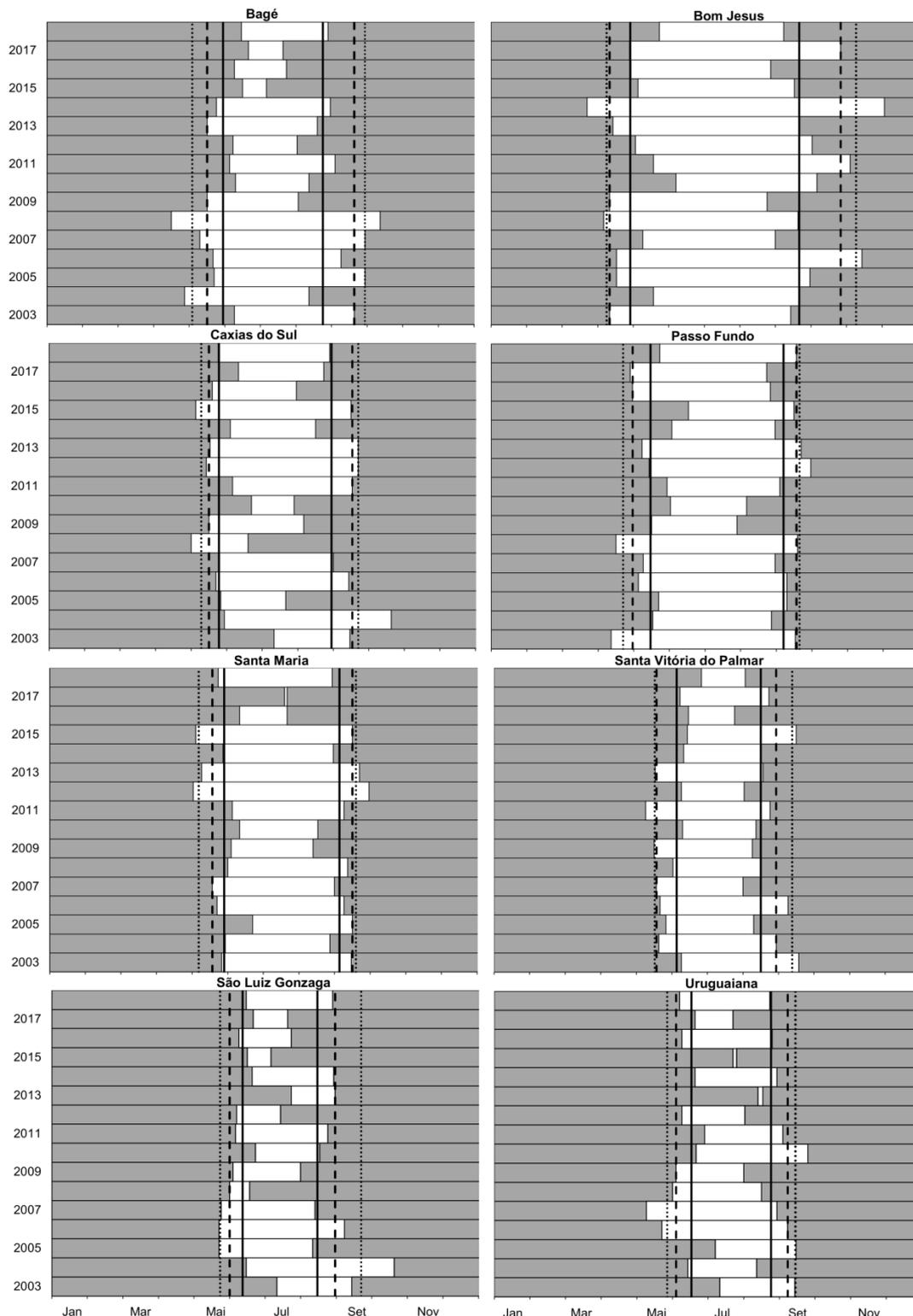


Fonte: Elaborados pelos autores, 2023.

O ano de 2010 se destacou por não apresentar nenhuma ocorrência de geada no outono (Figura 4). Em todos os outros anos analisados, todos os locais, com exceção de Uruguaiiana, apresentaram a maior ocorrência de geadas precoces (outono). Na Figura 4 são apresentados os valores da primeira e da última geada para cada ano, também, os períodos de possibilidade de ocorrência de 50% dos anos (linha vertical contínua), 80% dos anos (linha vertical traço maior) e 90% dos anos (linha vertical traço menor). Para Bagé, a duração entre a primeira a última geada com 90% de possibilidade dos anos a duração pode chegar a 146 dias. As maiores possibilidades de ocorrência foram para Bom Jesus com 211 dias com 90% de possibilidade de risco, o menor risco de geada está em Uruguaiiana em 90% dos anos o período de duração de geada pode chegar a 108 dias. A estação de Bom Jesus registrou o período com maior duração de 251 dias entre a primeira (23/03) e a última (29/11) geada no ano de 2014.

Quanto à ocorrência da primeira geada anual, as mais precoces foram registradas em Passo Fundo (12/04/2003), Bagé (15/04/2008), Caxias do Sul (30/04/2008), Santa Maria (01/05/2012), Uruguaiiana (09/05/2007), Santa Vitória do Palmar (09/05/2011) e São Luiz Gonzaga (22/05/2005 e 22/05/2006). A última geada ocorreu na segunda quinzena de setembro para Santa Vitória do Palmar, Santa Maria, Passo Fundo e Uruguaiiana, na primeira quinzena de outubro em Bagé, segunda quinzena em Caxias do Sul e São Luiz Gonzaga e na segunda quinzena de novembro para Bom Jesus. As maiores durações entre o primeiro e último dia de geada ocorreram em diferentes anos e locais na seguinte ordem: Bom Jesus, Bagé, Passo Fundo, Santa Maria, Caxias do Sul, São Luiz Gonzaga, Uruguaiiana e Santa Vitória do Palmar com as seguintes durações: 251, 176, 155, 148, 141, 125, 110 e 108 dias, nos diferentes anos: 2014, 2008, 2003, 2012, 2004, 2004, 2007 e 2006.

Figura 4 - Período antes da primeira geada (barra cinza) ou após a última geada (barra cinza), período entre a primeira e última geada (barra branca), possibilidade de ocorrência (90% linha vertical traço curto, 80% traço longo e 50% linha contínua) para a primeira e última geada nos diferentes meses do ano para oito locais do Rio Grande do Sul, no período de 2003 a 2018



Fonte: Elaborados pelos autores, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estado do Rio Grande do Sul apresenta variabilidade interanual de ocorrência de geadas. Na análise espacial, as ocorrências totais de geadas na ordem decrescente foram: Bom Jesus (Serra do Nordeste), Santa Maria (Depressão Central), Bagé (Campanha), Passo Fundo (Planalto Médio), Uruguaiana (Campanha), Santa Vitória do Palmar (Litoral), São Luiz Gonzaga (Missioneira) e Caxias do Sul (Serra do Nordeste). Segundo a análise da intensidade das geadas ocorridas no período, a maioria foi de intensidade fraca, seguidas de moderadas e fortes. Entre as estações do ano, o inverno apresentou o maior número de ocorrência de geadas, seguido do outono e da primavera. Todos os locais, com exceção de Uruguaiana, apresentaram a maior ocorrência de geadas mais precoces (ocorridas no outono) do que geadas tardias (ocorridas na primavera) com variabilidade entre os anos. Dentro dos locais e no período analisado, as maiores possibilidades de ocorrência de geada foram verificadas para Bom Jesus, na Serra do Nordeste, e a menor possibilidade foi verificada para Uruguaiana, na Campanha.

Esta pesquisa contribuiu, principalmente, para mostrar as diferenças de ocorrência de geadas, em número, distribuição, intensidade e épocas de ocorrência nas diferentes regiões do estado, desta forma, evidencia-se a necessidade de regionalizar os estudos da ocorrência deste evento no Rio Grande do Sul. Neste sentido, recomendam-se os estudos regionalizados de geada pela grande variabilidade climática do estado do Rio Grande do Sul, inclusive determinar para diferentes regiões do estado a probabilidade de ocorrência de geada através do uso de temperatura do ar no abrigo meteorológico, além de estudos sobre a influência do fenômeno atmosférico oceânico ENOS (El Niño – Oscilação Sul) na ocorrência, na intensidade e na distribuição temporal de geadas no estado.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D.; MENDONÇA, M. Climatologia das Geadas em Santa Catarina. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p.762-773. Disponível em: http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/AGUIAR-E-MENDON%C3%87A_2004.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- ASSMANN, A. P. *et al.* Tolerância de frutos de pessegueiro a geadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1030-1035, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400031>
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352 p.
- BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha** v.16, n.1/2, p. 7-16. 2010. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/165> Acesso em: 15 jul. 2023.
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25884>
- BRAGA, G. B. *et al.* Frost risk and rural insurance in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 703-711, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360137>
- BUENO, N. M. M.; JADOSKI, S. O.; LIMA, V. A. de; BUENO, J. C. M. El Niño-Southern Oscillation and frost occurrence in the Guarapuava-PR region. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e689119596, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9596>
- CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de Frentes Frias na América do Sul e sua relação com o Modo Anular Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.17, n.1, p. 9-29, 2015. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.40124>
- CHARRIER, G. *et al.* Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 259, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00259>

- CUNHA, G. R. *et al.* Trigo. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: INMET, 2009. p. 169-181.
- CUNHA, G. R.; HAAS, J. C.; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de trigo no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, n. 1, p. 55-62, 1999.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS**. Versão 10.8.2. [Redlands]: Esri, [2021].
- DALMAGO, G. A. *et al.* Canola. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília: INMET, 2009. p. 133-147.
- FIRPO, M. A. F. *et al.* Impacto do ENOS e da ODP na ocorrência de geadas no Rio Grande do Sul. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Guarapari. **Anais...**, Guarapari: SBAGRO, 2011. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/3694.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambi-Água**, v.1, p.61-71, 2006. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.6>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Catálogo de estações convencionais**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoman#> Acesso em: 14 jun. 2023.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Manual de observações meteorológicas**. 3ª edição. 1999. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/manual/manual-de-observa%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas> Acesso em: 20 jun. 2023.
- JUNGES, A.H.; ALVES, G.; FONTANA, D.C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2413-2419. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7.
- JUNGES A. H.; FONTANA, D. C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, v. 39, p.1-15, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000114>
- JUNGES, A. H. Caracterização climática da temperatura do ar em Veranópolis, Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v. 26, n. 2, p. 299-306, 2018. <https://doi.org/10.31062/agrom.v26i2.26411>
- MACHADO, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1950, 91p
- MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3, Fortaleza, 2001. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p.151-152.
- MANDELLI, F.; MIELE, A. TONIETTO, J. Uva em clima temperado. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. p. 504-515, Brasília, 2009.
- MASSIGNAM, A. M. *et al.* Ecofisiologia do feijoeiro. IV – Rendimento de grãos sob diferentes épocas de semeadura no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.55-61, 1998. Disponível em: <https://sbagro.org/files/biblioteca/160.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas climático: Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio, 2011. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/agrometeorologia>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- MATZENAUER, R. *et al.* Horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1/2, p. 71-76, 2005. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/283>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- NACHTIGALL, G. R.; FIORAVANÇO, J. C.; HOFFMAN, A. Macieira. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. p. 449-464, Brasília, 2009.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. **Anos e intensidades de El Niño e La Niña com base no índice Oceanic Niño (ONI)**. 2023. Disponível em: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em: 30 ago. 2023.

OLIVEIRA, H. T. de. **Climatologia das temperaturas mínimas e probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul**. 1997. 81 f.: il. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Geada. In: PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. (Ed.). **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002, p. 384-397.

PIZZOCHERO, Renan Martins. Impacto do Modo Anular Sul na América do Sul. 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/21058>. Acesso em: 12 jun. 2023.

R PROJECT FOR STATISTICAL COMPUTING. R. Versão 4.1.1. [S. l.]: R Project, [2021]. Linguagem de programação.

RICCE, W. S.; PANDOLFO, C.; SOUZA, A. L. K.; MASSIGNAM, A. M.; VIANNA, L. F. N. Análise de riscos climáticos para as culturas do pessegueiro, nectarineira e ameixeira no estado de Santa Catarina. maio 2021. 15p. EPAGRI/CIRAM. 2021. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/site/boletins_culturas/risco_climatico/SC_Frutas_Caroco.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul**; variabilidade, tendências e tipologia. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2011. 240 f.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Revista Entre-Lugar**, v. 11, n. 22, p. 57-85, 2020. <https://doi.org/10.30612/el.v11i22.12781>

SANTOS, H. P., SILVA, L. C., MELO, G. W. B. Manejo de vinhedos em situação de pós-geada. Infoteca-e. Embrapa Uva e Vinho, ago. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124618/1/Folheto-ManejoPosGeada-2020.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos Cultivos: Informações para uma Agricultura Sustentável. In: MONTEIRO, J. E. B. de A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, Brasília, DF: INMET p. 3-12, 2009.

SNYDER, R.L.; MELO-ABREU, J.P. de. Frost protection: fundamentals, practice and economics. Rome: FAO. **Environment and Natural Resources Series**, n. 10, v. 1, 2005. 240 p.

STRECK, N. A. *et al.* Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v. 70, p. 696-702, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300028>

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2. ed., Recife: 2006.

WREGGE, M. S. *et al.* Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1045852>. Acesso em: 12 maio 2023.

WREGGE, M. *et al.* Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306>

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. **Meteorologia**: noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.

Recebido em: 30/11/2023

Aceito para publicação em: 28/05/2024