



Climatologia das horas de frio e relação com cultivo de frutíferas de clima temperado na Serra Gaúcha

Amanda Heemann Junges^{1(*)}, Rafael Anzanello¹, Denise Cybis Fontana² e Henrique Pessoa dos Santos³

¹Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura – CEFRUTI, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Rodovia BR 470 km 171, s/n, CEP 95330-000 Veranópolis, RS. E-mails: amanda-junges@agricultura.rs.gov.br e rafael-anzanello@agricultura.rs.gov.br

²Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre, RS. E-mail: dfontana@ufrgs.br

³Embrapa Uva e Vinho. Rua Livramento, 515, CEP 95701-008 Bento Gonçalves, RS. E-mail: henrique.p.santos@embrapa.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 11 de julho de 2024

Aceito em 2 de outubro de 2024

Termos para indexação:

dormência
frio hibernal
médias
anomalias

RESUMO

O acúmulo de Horas de Frio (HF) é essencial para brotação, floração e expressão do potencial produtivo em frutíferas de clima temperado. O objetivo desse trabalho foi definir a climatologia das HF para região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020, e confrontar a disponibilidade climática com as necessidades das espécies/cultivares. Foram empregados dados de HF ($\leq 7,2^{\circ}\text{C}$) mensais (maio a setembro) e acumulados nos períodos inverno (junho a agosto), maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S), de Veranópolis e Bento Gonçalves. Os resultados indicaram que as médias de HF foram 289 (inverno), 322 (M-A) e 356 (M-S). Houve elevada variação interanual das HF, porém a porcentagem de anos em que as HF foram superiores à média + 1 desvio-padrão (DP) foi semelhante a de anos com HF abaixo de média - 1 DP; assim como a frequência de anomalias positivas foi próxima à de negativas. O inverno contribuiu, em média, com 81% do total de HF de M-S e deve ser o período prioritário para monitoramento do frio. Maior média mensal ocorreu em julho (121 HF) e menor em maio e em setembro (34 HF). Considerando as médias climatológicas, indica-se o cultivo de genótipos com demanda máxima de 400 HF. A climatologia das HF gera informações importantes para redução do risco climático na produção de frutíferas de clima temperado.

© 2024 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

Em regiões de climas temperado e subtropical, espécies frutíferas como videiras, macieiras, pessegueiros e pereiras, entre outras, apresentam um período de repouso vegetativo nos meses mais frios do ano. Com a diminuição

das temperaturas do ar no outono, essas plantas, também conhecidas como criófilas, paralisam o crescimento, perdem as folhas e as gemas entram no estado fisiológico de dormência, sendo, neste caso, uma endodormência. De acordo com Lang (1987), existem três tipos de dormência, denominadas paradormência, endodormência e ecodor-

mência. Na paradormência, a brotação das gemas laterais é inibida, principalmente, por meio de ação hormonal (auxina), coordenada pelo meristema apical dos ramos em crescimento (dominância apical), enquanto que na ecodormência a gema depende de calor e disponibilidade hídrica para iniciar a brotação (efeito externo). Por sua vez, na endodormência, a brotação das gemas é inibida por eventos bioquímicos e fisiológicos que ocorrem nos meristemas e que são desencadeados, principalmente, pelas baixas temperaturas do ar no outono, por alterações no fotoperíodo ou por ambos. Quando as plantas estão em endodormência, os processos metabólicos diminuem, alterando a concentração de açúcares no xilema e reduzindo o conteúdo de água nos tecidos das gemas e de estruturas permanentes da planta. Tais alterações favorecem a tolerância dos tecidos às baixas temperaturas do ar e, conseqüentemente, ao congelamento que pode ocorrer durante o inverno (Pertille et al., 2022).

No cultivo de espécies frutíferas em regiões de clima temperado ou subtropical, a endodormência é ativada e sua superação depende do acúmulo adequado de frio para que as plantas atinjam a plena brotação e floração. Ou seja, se o acúmulo de frio hibernal for insuficiente e desuniforme, em relação à demanda do genótipo, o potencial produtivo será prejudicado (Anzanello et al., 2018). Tal prejuízo se manifesta tanto pela ausência de brotação quanto pela brotação desuniforme, alterando o período de floração e reduzindo a sincronia de floração com as espécies polinizadoras, o que impacta na frutificação efetiva (Anzanello, 2020).

A necessidade de frio para superação da endodormência de gemas em frutíferas de clima temperado pode ser caracterizada de diferentes formas, sendo a quantidade de “Horas de Frio” (HF) o padrão frequentemente empregado. As HF referem-se ao total de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de uma determinada temperatura-base. Embora a temperatura-base varie entre genótipos, Nightingale & Blake definiram, em 1934, para pessegueiros e macieiras, que as plantas paralisam o crescimento quando a temperatura do ar atinge 45°F (°Fahrenheit), o que equivale a 7,2°C (°Celsius) (Bergamaschi, 2017). Essa temperatura se tornou padrão de referência internacional e tem sido empregada na determinação das exigências de HF das espécies, assim como em zoneamentos agroclimáticos (Matzenauer et al., 2005). De modo geral, entre espécies e cultivares frutíferas observa-se uma amplitude de variação entre 100 e 1.500 HF para superação da dormência (Petri et al., 2021).

O somatório de HF no outono-inverno é uma variável agroclimática importante que pode auxiliar na identificação de regiões com o mesmo padrão, delimitando as zonas indicadas para plantio de frutíferas e florestais de clima temperado (Wrege et al., 2016). No Estado do Rio Grande do

Sul, as HF acumuladas nos períodos de maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S) foram empregadas como critérios nos zoneamentos agroclimáticos de videiras (Maluf et al., 2014), macieiras (Maluf et al., 2011), pereiras (Wrege et al., 2006) e pessegueiros (Herter et al., 2002). Além das médias climatológicas de HF, também é relevante a análise da variabilidade interanual deste parâmetro, para fins de caracterização da sustentabilidade da produção de frutíferas de clima temperado. As HF são utilizadas no manejo fitotécnico de pomares, permitindo uma avaliação do potencial de brotação a cada ano, em função do frio acumulado durante o inverno (Bergamaschi, 2017).

Diante da importância das HF para identificação das regiões com potencial de cultivo de frutíferas de clima temperado, aperfeiçoamento de zoneamentos agroclimáticos, redução do risco climático pela escolha de cultivares mais adaptadas, subsídio aos programas de melhoramento genético e suporte às técnicas de manejo relacionadas à brotação nos pomares, é fundamental que os dados de HF sejam continuamente calculados e os bancos de dados atualizados. A partir destes registros, é possível obter os valores médios que caracterizam o clima nas regiões e microrregiões.

O objetivo desse trabalho foi definir a climatologia das HF na região da Serra Gaúcha, empregando-se a série definida pela normal climatológica padrão (NCP) 1991-2020, e confrontar a disponibilidade climática de HF com as necessidades das espécies frutíferas de clima temperado que predominam na região.

Material e métodos

Para definição da climatologia das HF na região da Serra Gaúcha foram empregados valores mensais de HF (soma do número de horas nas quais a temperatura do ar permanece igual ou inferior a 7,2°C), no período de maio a setembro na série 1991-2020 (normal climatológica padrão-NCP) provenientes dos bancos de dados das estações meteorológicas situadas nos municípios de Veranópolis (28°53'17" S e 51°32'32" W, 707 m de altitude) e de Bento Gonçalves (29°09'44" S e 51°31'50" W, 640 m de altitude), Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul. Os dados de ambas estações foram empregados na definição de valores médios regionais de HF mensais, nos períodos maio-agosto (M-A) e maio-setembro (M-S), e no trimestre junho-julho-agosto (JJA), que corresponde ao inverno climatológico no hemisfério sul. Para definição dos valores médios regionais, falhas observadas nos conjuntos de dados, principalmente no caso de Veranópolis, foram preenchidas com os valores médios históricos do município definidos por Junges et al. (2024).

Para o inverno e períodos M-A e M-S, além das médias, também foram calculadas as estatísticas descritivas desvio-padrão (DP), coeficiente de variação (CV), valores mí-

nimo e máximo; intervalo compreendido por média \pm 1DP e número de anos com HF acima/abaixo desse intervalo. Para cada ano foi definida porcentagem de contribuição do inverno sobre o total de HF registrado em M-S (100%), bem como calculada contribuição média na NCP. Nos meses e períodos frequentemente empregados na caracterização das HF (M-A e M-S) foram definidas as anomalias de HF e a distribuição de frequências em que estas ocorreram. A cada ano, a anomalia (positiva ou negativa), referiu-se à diferença entre as HF ocorridas e a média definida na NCP.

Para análise da distribuição de frequências das HF foram elaborados gráficos, sendo consideradas as frequências em classes fixas (para M-A e M-S) e classes por percentis (para dados mensais e períodos M-A e M-S). Na análise por classes fixas foram contabilizadas as ocorrências por classes de 50 em 50 HF, atingindo 10 classes: de classe 1 (menor ou igual a 100 HF) à classe 10 (maior ou igual a 501 HF). Na análise de classes por percentis foram contabilizadas as ocorrências nas classes definidas pelos percentis de cada conjunto de dados, considerando: percentil 0 a 15 (15% dos dados) - classe muito abaixo (da média); percentil 15 a 35 (20% dos dados) - classe abaixo; percentil 35 a 65 (30% dos dados) - classe normal ou média; percentil 65 a 85 (20% dos dados) - classe acima; percentil 85 a 100 (15% dos dados) - classe muito acima.

Além da caracterização climática, avaliou-se também a variação temporal por décadas dos acúmulos de HF na NCP 1991-2020, considerando-se as décadas um (1991-2000), dois (2001-2010) e três (2011-2020). Eventuais diferenças entre décadas foram avaliadas por meio de gráficos de distribuição dos dados (*box plot*), médias, anomalias (número e média) e número de anos com valores de HF acima/abaixo de média \pm 1DP.

Para análise do efeito (impacto) da climatologia das HF sobre a fruticultura da Serra Gaúcha, os resultados foram confrontados com as exigências de HF das espécies/cultivares frutíferas de clima temperado que predominam na região. A necessidade de HF de cada genótipo foi compilada da literatura. Nos trabalhos avaliados, a definição das necessidades de HF foi obtida por métodos biológicos (condições controladas) ou por evidências empíricas (observações a campo). Métodos biológicos se caracterizaram pela observação fenológica direta (brotação e floração) de gemas que foram submetidas, em condições controladas, às condições de frio e calor durante a dormência. Existem métodos biológicos que utilizam plantas inteiras (em vasos ou ramos enxertados) ou apenas partes destas, tais como ramos destacados e nós isolados (Dole, 2001). Nestes métodos, o material vegetal amostrado no campo (antes da ocorrência dos primeiros frios no outono) é submetido (em câmaras de crescimento) aos diferentes tempos de temperaturas de frio, e posteriormente, induzido a brotar em temperaturas de calor. A necessidade de frio exigida

pelo genótipo é definida com base no percentual de brotação obtido após cada tratamento de frio (Anzanello et al., 2014a). A caracterização da necessidade de frio das espécies/cultivares também pode ser definida por observações a campo (pomares) ou através de experimentos em vasos ou canteiros, em locais abertos, confrontando o comportamento fenológico da planta, em termos de brotação/floração, com os registros de frio natural no local de cultivo.

Resultados e discussão

HF acumuladas

Nos 30 anos empregados na definição da NCP 1991-2020, as médias de HF acumuladas nos períodos M-A e M-S foram, respectivamente, 322 HF e 356 HF, não havendo diferença entre estes valores médios (Tabela 1).

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta grande variabilidade entre regiões no que se refere às HF (Matzenauer et al., 2005). O número médio é maior na região da Campanha Gaúcha (extremo sul) e nas de maior altitude, como a Encosta Superior da Serra do Nordeste (Serra Gaúcha), Campos de Cima da Serra e Serra do Sudeste (Wrege et al., 2016). A Campanha, apesar das menores altitudes, é a região de entrada das massas de ar frio no Estado, as quais causam um declínio na temperatura do ar após a incursão (Firpo et al., 2012). Contudo, nas demais três regiões, o maior acúmulo de HF está associado a altitudes superiores a 500 m (Matzenauer et al., 2005). Nesse sentido, os valores médios obtidos neste trabalho, calculados a partir dos dados de Bento Gonçalves (640 m de altitude) e Veranópolis (707 m), estão dentro da amplitude observada em outras localidades da Serra Gaúcha, como nos municípios de Caxias do Sul, com 840 m (395 HF em M-A e 463 HF em M-S), e Farroupilha, com 680 m (respectivamente, 405 e 464 HF nos mesmos períodos) (Matzenauer et al., 2005). Da mesma maneira, os valores médios de HF concordaram com Wrege et al. (2016) que, ao identificar regiões homogêneas quanto às HF acumuladas no outono-inverno na região Sul do Brasil, enquadrou Veranópolis no grupo quatro (região intermediária, com 300 a 400 HF no período M-S).

Tabela 1. Estatísticas descritivas de Horas de Frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) acumuladas nos períodos maio-agosto (M-A), maio-setembro (M-S) e inverno (junho a agosto; JJA), na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020.

Estatística	Horas de Frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) acumuladas		
	Períodos		
	M-A	M-S	JJA
Média	322 AB	356 A	289 B*
Desvio-padrão	89	93	80
Coefficiente de variação (%)	28	26	28

(*) Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis.

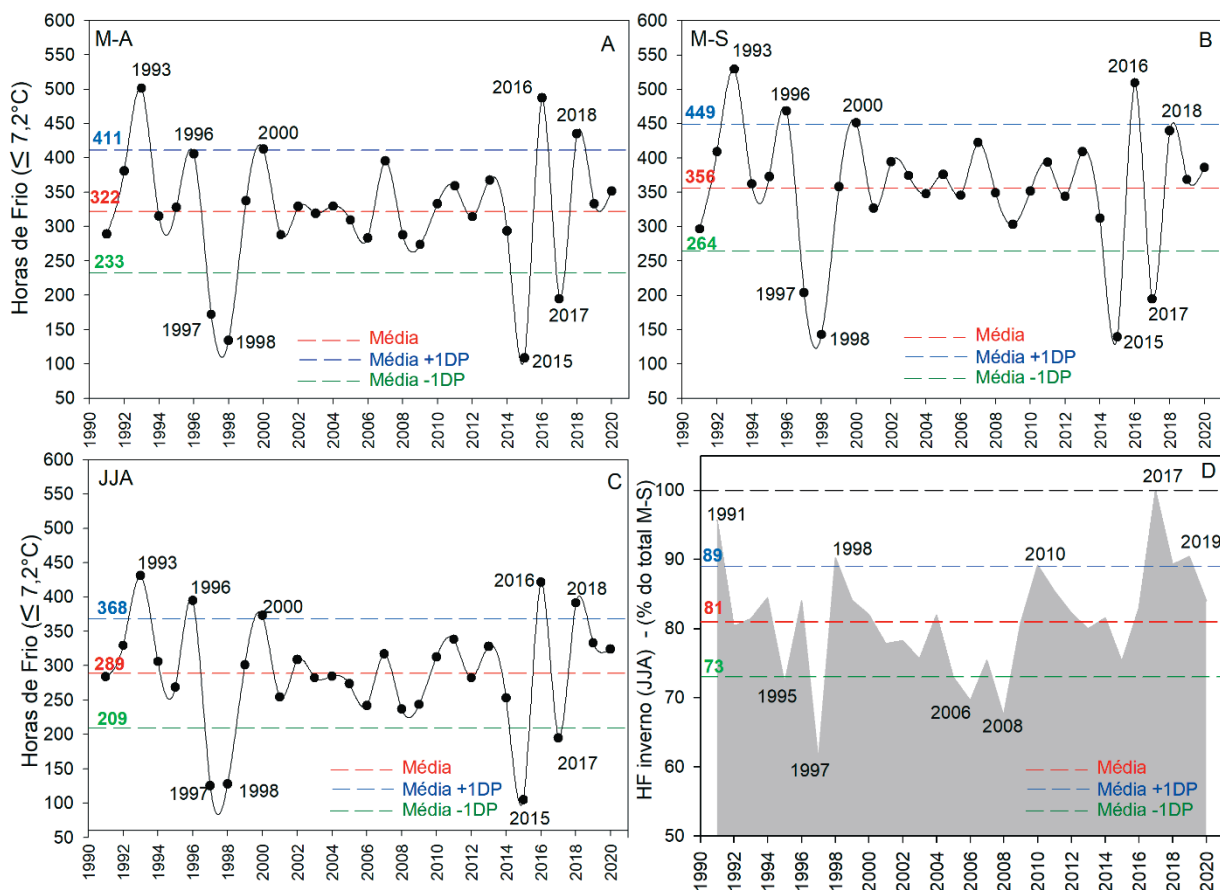
O aumento do número médio de HF de M-S em relação à M-A foi de apenas 34 HF (equivalentes a 9,5% do total de M-S). Uma reduzida diferença de HF entre os períodos M-A e M-S que já era esperada em função da diminuição da ocorrência de dias com temperaturas do ar abaixo de 7,2 °C em setembro. Matzenauer et al. (2005) também apontaram que o aumento do número médio de HF em M-S, em relação a M-A, é maior quando se realiza o cômputo de HF iguais ou inferiores a 10 °C ($HF \leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$), em relação a 7,2 °C ($HF \leq 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$). Neste sentido, é importante destacar que, para algumas frutíferas, especialmente as de menor exigência, o cômputo da necessidade de frio no período de dormência pode ser realizado por meio de derivações do modelo que considera 7,2°C como parâmetro. Dentre estas, citam-se algumas análises para videiras que consideraram o acúmulo de HF em temperaturas do ar igual ou inferior a 10°C (Spadari & Giovaninni, 2009), e para pessegueiros e nectarineiras, com acúmulos de HF em temperaturas do ar igual ou inferior a 13°C ($HF \leq 13 \text{ }^\circ\text{C}$) (Júnior et al., 2007). Embora tais modelos sejam importantes para o cômputo de HF em algumas condições específicas de análise fisiológica, estas observações particulares de espécie/cultivar não possibilitam comparações ou análises mais amplas entre

regiões de cultivo. Portanto, em estudos climatológicos, as médias de HF são, prioritariamente, baseadas no referencial térmico de 7,2°C.

A média de HF acumulada no inverno foi 289 HF (Tabela 1) (Figura 1D). Essa média foi inferior à do período M-S, porém semelhante à de M-A (Tabela 1). Em geral, a contribuição média do trimestre JJA foi de 81% do total de HF de M-S (Figura 1D). Estes valores médios foram ligeiramente superiores à média de HF no inverno definida para o Estado (238 HF) e à porcentagem de contribuição da estação no total anual (74,4%, sendo o restante distribuído de forma similar no outono e na primavera - Matzenauer et al., 2007). Este contraste está associado ao fato da média estadual ter sido calculada a partir de dados de 26 estações meteorológicas, localizadas tanto em regiões de ocorrência de maiores valores de HF (a exemplo da Serra Gaúcha, ou regiões de maior altitude), como de regiões com menor acúmulo de frio (Matzenauer et al., 2007).

Em alguns anos, a soma de HF no inverno representou menos de 73% (média -1DP) do total do período M-S, como em 1995, 1997, 2006 e 2008 (Figura 1D). Nestes casos, os meses de maio (1997) e, especialmente, de setembro (2006 e 2008) apresentaram uma contribuição

Figura 1. Transcurso temporal das Horas de Frio ($HF \leq 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$) acumuladas nos períodos maio-agosto (M-A) (A), maio-setembro (M-S) (B) e inverno (junho a agosto; JJA) (C) na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020; e porcentagem de HF acumuladas no inverno em relação ao total do período M-S (100%) (D).



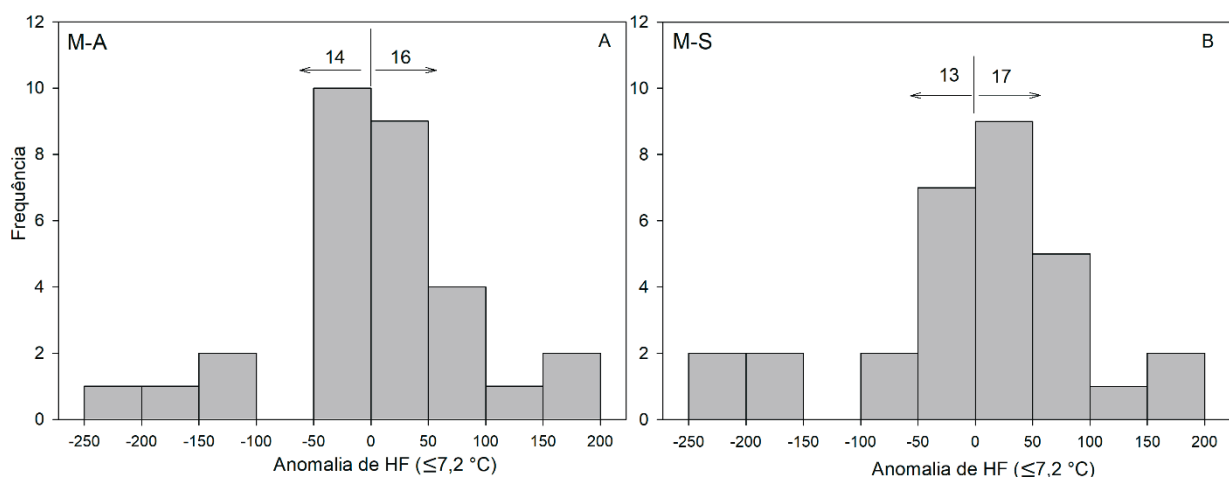
maior (24-26%) sobre o total de HF acumulado no período M-S. Estas contribuições maiores observadas nos meses iniciais e finais do período de dormência das frutíferas de clima temperado podem trazer consequências, tanto positivas quanto negativas, de acordo com o genótipo cultivado. Portanto, além das médias, é muito importante a caracterização da variabilidade dos dados em torno das médias registradas em cada período. De modo geral, observaram-se grandes oscilações entre anos, mas a variação interanual das HF em M-A (Figura 1A), M-S (Figura 1B) e também no inverno (Figura 1C) é similar em termos de coeficientes de variação (Tabela 1) e segue a mesma tendência. Ou seja, a variação no acúmulo de HF tende a ser parecida entre os anos, pois apresentam interface ou sobreposição de meses com maior influência na caracterização do frio hibernal.

Além do coeficiente de variação, foi possível avaliar a variabilidade do conjunto de dados por meio da definição do intervalo média $\pm 1DP$, número de anos com valores acima/abaixo desse intervalo e anomalias. Os intervalos de média $\pm 1DP$ definidos foram 233-411 HF (M-A) (Figura 1A), 264-449 HF (M-S) (Figura 1B) e 209-368 HF (inverno) (Figura 1C). Observou-se que o número de anos nos quais o acúmulo de HF em M-A e M-S foi igual ou maior do que média +1DP (cinco, ou 17% dos casos em M-A – Figura 1A; e quatro (13%) em M-S – Figura 1B) foi próximo ao de anos com acúmulo igual ou abaixo de média -1DP (quatro, ou 13%, tanto em M-A quanto em M-S - Figura 1A e 1B). O menor acúmulo de HF ocorreu em 2015 (109 HF em M-A e 140 HF em M-S) e o maior em 1993 (502 HF em M-A e 529 HF em M-S). Na NCP 1991-2020, os anos 1993, 1996, 2000, 2016 e 2018 destacaram-se pelos maiores valores de HF; enquanto que 1997, 1998, 2015 e 2017 foram os anos com os menores acúmulos de HF nos períodos M-A e M-S e também no inverno (Figura 1A, 1B e 1C).

Detalhando as anomalias de HF ocorridas na NCP 1991-2020, salienta-se que a frequência de positivas foi muito próxima à de negativas (Figura 2). Em termos de intensidade, anomalias de até 50 HF (tanto positivas quanto negativas) foram as de maior frequência na série. Embora menos frequentes, anomalias de HF acima de 100 HF também ocorreram nos períodos. Tais anomalias, assim como a identificação de anos com valores de HF acima/abaixo de média $\pm 1DP$ (Figura 1) podem ser importantes para avaliação dos possíveis fenômenos meteorológicos ou climáticos associados aos casos de maior ou menor acúmulo de frio hibernal, haja vista os impactos destes na produção de frutíferas de clima temperado.

A variabilidade das condições meteorológicas no Estado, considerando especialmente a precipitação pluvial e a temperatura do ar, tem sido associada a padrões climáticos oceânicos. Destas associações, o El Niño Oscilação Sul (ENOS) tem sido classificado como a maior fonte de variabilidade climática em escalas sazonais e interanuais (Berlato & Fontana, 2003; Britto et al., 2008; Matzenauer et al., 2017). No que se refere à temperatura do ar, em anos de La Niña, fase negativa do fenômeno ENOS, caracterizada pelo resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, a maioria dos meses apresenta anomalias negativas na média das temperaturas mínimas no Estado, ou seja, as temperaturas mínimas são inferiores às médias históricas (Berlato & Fontana, 2003). Ao analisar os dados de HF de M-S em 22 estações meteorológicas no Rio Grande do Sul e considerando um mínimo de três anos em cada um dos eventos ENOS, Radin et al. (2024) verificaram que os desvios positivos de HF (entre 10 e 20% em relação às médias) e os valores máximos de HF ocorreram em anos de La Niña, para maior parte das localidades avaliadas; enquanto que desvios negativos de HF e valores mínimos ocorreram em anos de El Niño. Apesar dessa tendência, Radin et al. (2024)

Figura 2. Frequência e número de anomalias de Horas de Frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) acumuladas nos períodos maio a agosto (M-A) (A) e maio a setembro (B) na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020.



destacaram que, na maioria das regiões do Estado, a média de HF em anos classificados como El Niño, La Niña ou neutro não diferem significativamente, com exceção das estações localizadas na região de maior altitude no Estado (Vacaria e São José dos Ausentes, nos Campos de Cima da Serra).

Os resultados deste trabalho, analisando a NCP 1991-2020 também salientaram que o fenômeno La Niña não parece ser o único fator determinante do acúmulo de frio, especialmente no que se refere aos valores máximos. Nos sete anos de maior acúmulo de HF, em cinco (71%) o inverno foi classificado como neutro, e apenas em dois (29%) teve a influência de La Niña. Contudo, na análise dos anos com menor acúmulo de frio hibernal, percebeu-se que a maioria dos invernos (60%) foram de El Niño, com apenas um inverno sendo classificado como neutro e um como La Niña.

Além dos eventos ENOS, a ocorrência de baixas temperaturas do ar no período de outono-inverno e, consequentemente, de HF, também depende da frequência e da intensidade das massas polares que atingem o Estado. A região Sul do Brasil sofre influência de massas polares durante todo ano, sendo esse efeito mais perceptível no período de outono-inverno, devido à maior intensidade de frio (Fortune et al., 1982). De modo geral, as variações mensais da Concentração de Gelo Marinho Antártico (CGMA) definem a frequência e a intensidade das massas polares (frentes frias), sendo, portanto, um provável fator de impacto sobre a dinâmica de HF.

Na definição de HF com maior frequência para cada período registraram-se as classes 301-350 HF (10 anos) para M-A e 351-400 HF (10 anos) para M-S (Figura 3). Salienta-se, que nessas classes se situaram também as médias dos períodos. Portanto, em termos de frequência de HF na NCP

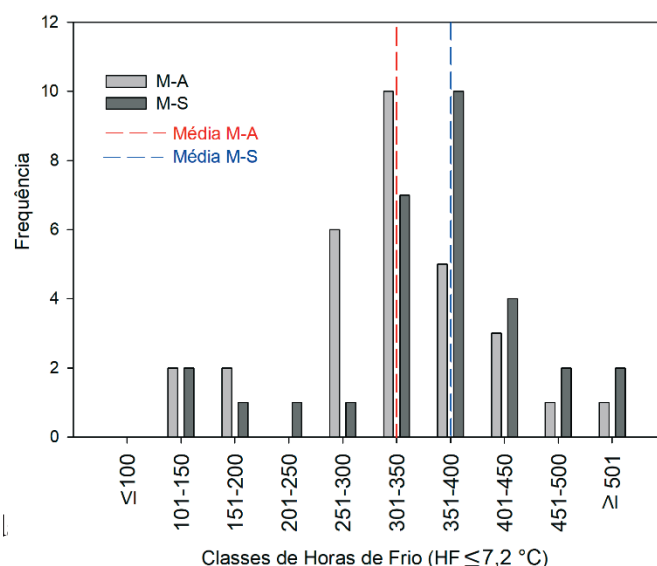
1991-2020, a maior parte dos anos apresentou um acúmulo entre 300 e 400 HF. Esse padrão também foi observado por Wrege et al. (2011), considerando a espacialização das HF de M-A e M-S do Atlas Climático da Região Sul e Wrege et al. (2016) na definição de regiões com similaridade de HF outono-inverno na região Sul do Brasil.

A distribuição de frequências por classes fixas de 50 em 50 HF é importante para caracterização climática regional e para eventual comparação entre regiões, tendo em vista que a espacialização do frio hibernal tende a ser realizada por meio de mapas com isolinhas de 50 HF (Matzenauer et al, 2005; Matzenauer et al., 2007; Wrege et al., 2011). Além disso, a determinação das exigências de frio hibernal das espécies/cultivares também costuma ser quantificada considerando a segmentação neste intervalo.

A partir da análise de frequências por classe percentílica foram identificados os valores limites de cada classe de HF, estabelecendo aquelas que compõem a classes normal (classe que abrange as HF próximas da média), em M-A e M-S, bem como as classes acima e abaixo da média, com base no conjunto de dados (Figura 4). As HF entre 309-339 HF (M-A) e entre 349 e 387 (M-S), compuseram as faixas da média (normal) (Figura 4). A expressão dos dados na forma de classes percentílicas é complementar ao que foi exposto na apresentação das classes fixas, estabelecendo os limites de HF baseados nas estatísticas do próprio conjunto de dados. Estes resultados caracterizam a distribuição das HF em termos climáticos, permitindo que as HF coletadas futuramente possam ser analisadas e posicionadas em relação às classes definidas, atuando como uma ferramenta para comparação (balizamento) dos anos em relação à NCP 1991-2020 e permitindo, desta forma, uma melhor caracterização, ano a ano, do acúmulo de frio.

A análise das HF ao longo das décadas que compõem

Figura 3. Distribuição de frequências das Horas de Frio (HF $\leq 7,2$ °C) acumuladas nos períodos maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S) por classes fixas (50 HF) na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020.



a NCP 1991-2020 indicou que não houve diferenças entre médias nos períodos M-A e M-S (Figura 5). Em termos de distribuição dos dados, a década dois (2001-2010) apresentou menor coeficiente de variação (11%) em relação às demais (34%) (Figura 5). Além disso, essa década intermediária não apresentou anos com HF acima ou abaixo do intervalo média \pm 1DP (Tabela 2), de modo que a década pode ser considerada a de menor variabilidade interanual no acúmulo de HF.

No entanto, em termos de anomalias, a década dois se destacou pela maior frequência de negativas (20% dos anos), tanto em M-A quanto em M-S, diferindo das frequências das demais (Tabela 2). Portanto, comparativamente às demais, esta década se destacou pelo maior número de anos com valores de HF abaixo da média nos períodos (dada a maior frequência de anomalias negativas), apesar

dos valores não serem inferiores à média - 1DP (Tabela 2). No que se refere às anomalias positivas, as maiores frequências relativas ocorreram nas décadas um e três, especialmente em M-A e na década um no caso de M-S (Tabela 2), sendo que, nestes casos, entre 20 e 24% dos períodos apresentaram HF acima da média histórica. Entende-se, dessa maneira que houve maior similaridade das frequências relativas das anomalias de HF entre as décadas inicial (1991-2000) e final (2011-2020) da NCP 1991-2020, comparativamente à década 2001-2010, a qual se caracterizou pela menor variabilidade dos dados.

HF mensais

Na NCP 1991-2020, a média mensal de HF variou entre os valores mínimo 34 HF (maio e setembro) e máximo 121 HF (julho) (Figura 6). Em termos médios, o final do outono

Figura 4. Distribuição de frequência das Horas de Frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) acumuladas nos períodos maio a agosto (M-A) (A) e maio a setembro (M-S) (B) por classes percentílicas na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020.

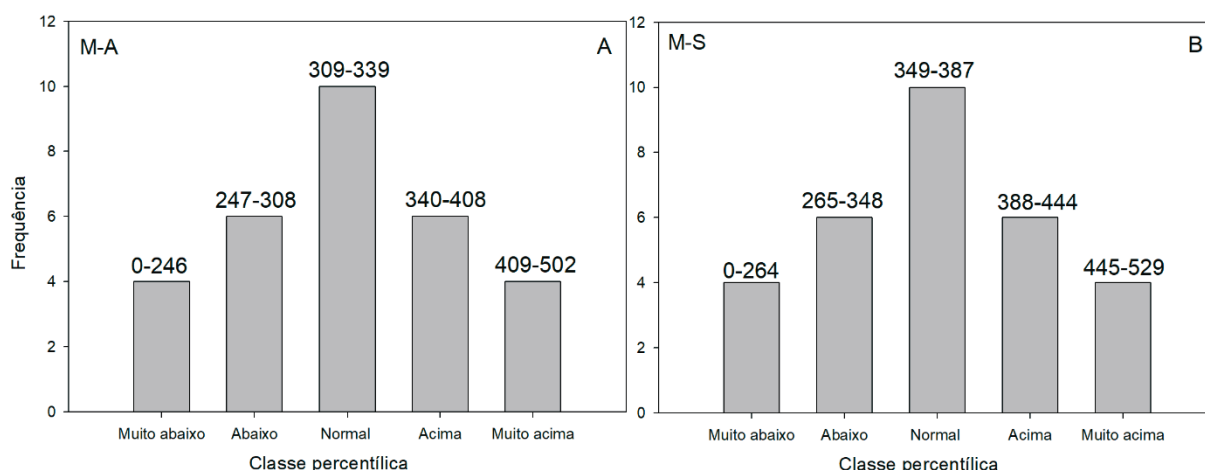


Figura 5. Diagramas de dispersão das Horas de Frio ($HF \leq 7,2^\circ C$) acumuladas nos períodos maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S) na região da Serra Gaúcha nas décadas que compõem a normal climatológica padrão 1991-2020. ns= não significativo pelo teste de Kruskal-Wallis.

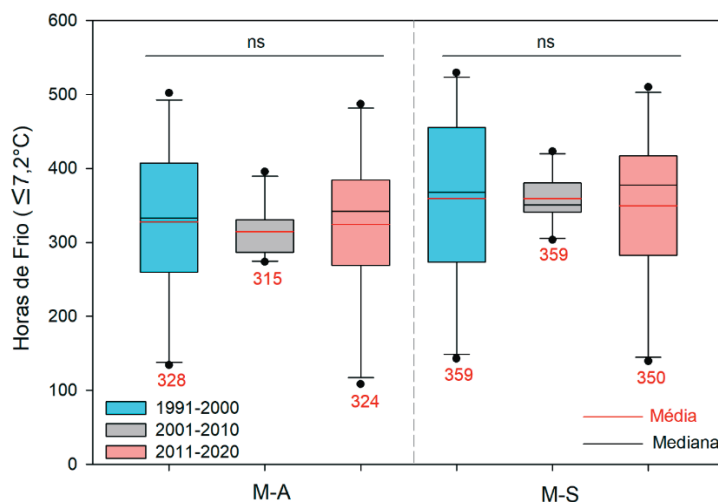


Tabela 2. Frequência relativa de anomalias e valores acima/abaixo de média ± 1 desvio-padrão (DP) das Horas de Frio (HF $\leq 7,2$ °C) acumuladas nos períodos maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S) na região da Serra Gaúcha nas décadas que compõem a normal climatológica padrão 1991-2020.

Décadas	Frequência relativa (% em 30 anos) - Horas de Frio (HF $\leq 7,2$ °C) acumuladas							
	Anomalias				Média ± 1 DP			
	Positivas		Negativas		Acima		Abaixo	
	M-A	M-S	M-A	M-S	M-A	M-S	M-A	M-S
1991-2000	20	24	14	10	7	10	7	7
2001-2010	13	13	20	20	0	0	0	0
2011-2020	20	20	13	13	7	3	7	7
Total	53	57	47	43	14	13	14	14

e o início da primavera se caracterizaram por um acúmulo similar e menor de HF (Figura 6).

Analisando dados mensais de HF no Estado do Rio Grande do Sul (26 locais, série 1956-2003), Matzenauer et al. (2005) já haviam indicado que os maiores valores de HF ocorrem no período de junho a agosto, sendo que, na maioria das localidades, o mês com maior acúmulo médio de HF é julho, enquanto maio e setembro apresentaram os menores valores médios. Na NCP 1991-2020 de HF na região da Serra Gaúcha, julho também foi o mês com maior acúmulo médio mensal de HF, seguido, em ordem decrescente, por junho (90 HF) e agosto (78 HF) (Figura 6). Os valores foram semelhantes aos definidos para Veranópolis, por Matzenauer et al. (2005), na série 1956-2003: maio (37 HF), junho (90 HF), julho (96 HF), agosto (67 HF) e setembro (37 HF), o que indica uma certa estabilidade dos valores médios regionais.

Os menores coeficientes de variação ocorreram em junho e julho, meses com as maiores médias de HF (Tabela 3). Em contrapartida, a maior variabilidade foi registrada em maio (63%), seguida por agosto e setembro, com variação similar de 54% (Tabela 3). Portanto, o início (maio) e final (agosto-setembro) do período de dormência de frutíferas de clima temperado foram os momentos com maior variabilidade entre anos na região.

Assim como foi verificado para os períodos M-A e M-S, nos dados mensais o número de anos com HF acima de média + 1DP (entre três e seis; ou seja, entre 10% e 20%) foi muito próximo do anos com HF abaixo de média - 1DP (entre dois e sete; 7% a 23%) (Tabela 3). Salienta-se que as maiores diferenças em termos de porcentagem de anos acima/abaixo do intervalo definido por média ± 1 DP ocorreram em setembro e maio (Tabela 3). Em setembro houve predomínio dos casos em que as HF foram acima de média

Figura 6. Diagramas de dispersão das Horas de Frio (HF $\leq 7,2$ °C) mensais (maio a setembro) na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis.

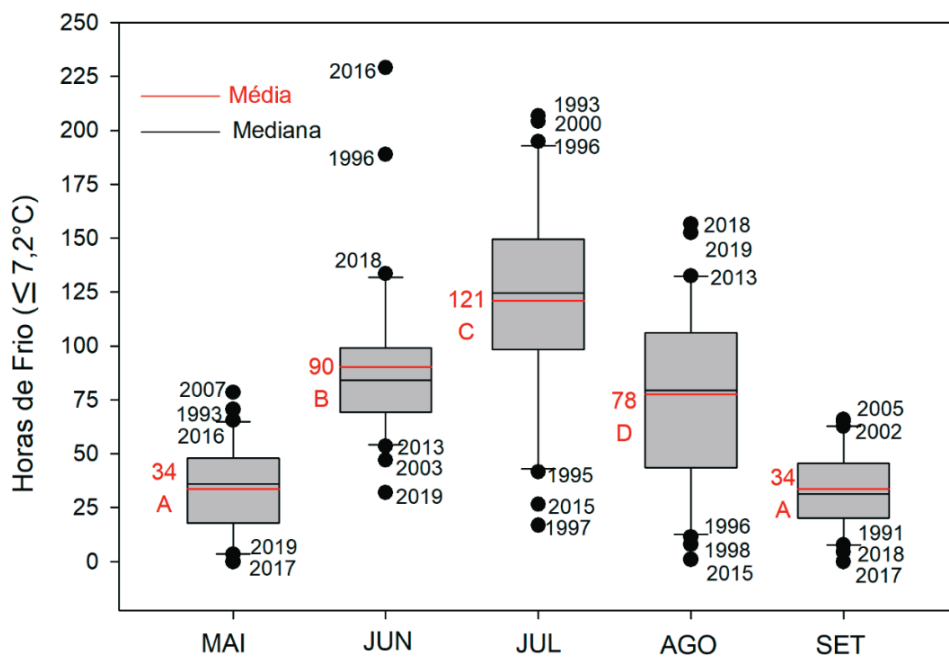


Tabela 3. Estatísticas descritivas, limites inferior/superior do intervalo definido por média \pm 1DP; número e porcentagem de anos com HF acima/abaixo de média \pm 1DP; número e porcentagem de anos com anomalias positivas/negativas de Horas de Frio (HF \leq 7,2 °C) mensais (maio a setembro) na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis.

Estatística	Horas de Frio (HF < 7,2°C)				
	Meses				
	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Média	34 A	90 B	121 C	78 D	34 A
Desvio-padrão (DP)	21	39	48	42	18
Coefficiente de variação (%)	63	43	40	54	54
Mínimo	0	32	17	1	0
Máximo	78	229	207	157	66
Limite superior (M+1DP) (1)	55	129	169	120	52
Limite inferior (M-1DP) (2)	13	51	73	36	15
Anos acima de (1)	4 (13%)	3 (10%)	5 (17%)	6 (20%)	6 (20%)
Anos abaixo de (2)	7 (23%)	2 (7%)	5 (17%)	5 (17%)	4 (13%)
Anomalias positivas	16 (53%)	13 (43%)	16 (53%)	16 (53%)	14 (47%)
Anomalias negativas	14 (47%)	17 (57%)	14 (47%)	14 (47%)	16 (53%)

+1DP (20%), em relação aos abaixo de média - 1DP (13%); sendo verificada, em maio, situação oposta (Tabela 3).

A partir da análise de dispersão dos dados mensais de HF na NCP 1991-2020 (Figura 6), destaca-se a ocorrência de menos de 50 HF em junho (2003, 47 HF; 2019, 32 HF) e em julho (1995, 42 HF; 2015, 27 HF; 1997, 17 HF); assim como menos de 15 HF em agosto (1996, 12 HF; 1998, 8 HF; 2015, 1 HF). Como valores máximos destacaram-se as 229 HF em junho de 2016, 207 HF em julho de 1993 e 204 HF em julho de 2000 (Figura 6). Identificou-se que, de modo geral, anos caracterizados pelo maior acúmulo de HF nos períodos M-A e M-S apresentaram um ou dois meses com valores acima de média + 1DP e que esses meses foram, em geral, junho e julho; e, no caso dos anos caracterizados pelos valores de HF abaixo de média - 1DP nos períodos, os meses de julho e agosto foram os que, de modo geral, também registraram valores nesta situação.

Na análise das anomalias mensais de HF foi verificada uma proporção semelhante entre positivas e negativas (47% e 53%) (Tabela 3). A maior frequência relativa (53%) foi variável entre os meses com anomalias positivas (maio, julho e agosto) e com anomalias negativas (junho e setembro) (Tabela 3). Em junho foi observada maior frequência de anos considerados anomalias negativas (17 ou 57% da série), ou seja, em mais da metade da série foram registrados valores inferiores à média mensal.

A partir da análise das classes percentílicas de HF mensais (Figura 7), assim como ajustado para os períodos M-A e M-S, foram obtidas as faixas de valores referenciais para a classe média (normal) e as classes acima e abaixo desta (Figura 7). Os valores normais ficaram entre 27-41 HF em maio (Figura 7A), 75-96 HF em junho (Figura 7B), 112-138 HF em julho (Figura 7C), 63-95 HF em agosto (Figura 7D) e

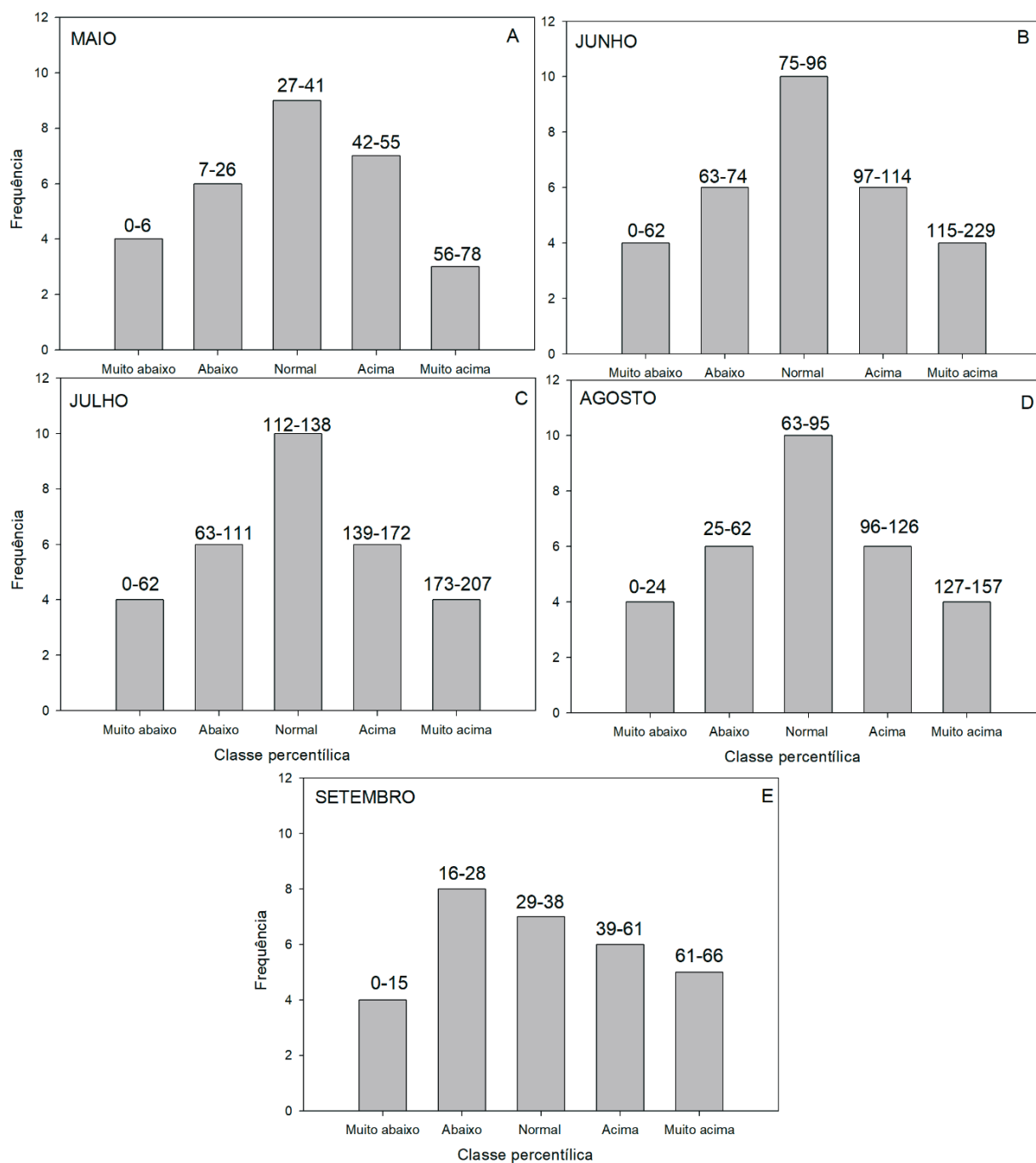
29-38 HF em setembro (Figura 7E).

Na análise comparativa entre as décadas que compõem a NCP 1991-2020 não houve diferenças entre médias mensais de HF (Figura 8). Assim como salientado anteriormente para os períodos (M-A e M-S), a dispersão dos dados mensais foi menor na década dois (2001-2010), mantendo-se as décadas um e três similares e com uma alta variabilidade interanual de HF em cada mês (Figura 8).

A mesma variação entre décadas também foi registrada no número de anos com valores acima/abaixo de média \pm 1DP e na magnitude (média) das anomalias (Figura 9). Apesar do número semelhante de anomalias positivas e negativas de HF nas três décadas (variando entre quatro e seis) (Figura 9), houve alguns destaques importantes. Em maio, a média das anomalias e o número anos com valores de HF abaixo de média - 1DP nas décadas um e três foram maiores (e similares entre si), em comparação com a década dois (Figura 9A).

Em junho, a magnitude (médias) das anomalias positivas e negativas foi semelhante, com exceção das positivas na década três, cujo valor médio (48 HF) foi influenciado pelo extremo de HF registrado em junho de 2016 (anomalia positiva de 139 HF). Esse incremento de HF de junho de 2016 foi muito superior às demais anomalias positivas da década; mas esse mês também registrou o segundo valor extremo de anomalia (98 HF), em 1998 (Figura 9B). No mês de julho, o destaque foi para a década um, sendo observados maior média e número anos acima/abaixo de média \pm 1DP, tanto positivos quanto negativos (Figura 9C). Isso caracterizou essa primeira década com a maior variabilidade interanual, como salientado no diagrama de dispersão dos dados (Figura 8). Em agosto, a maior média e número anos com maior acúmulo de HF (acima de média + 1DP) ocorreu

Figura 7. Distribuição de frequências das Horas de Frio (HF $\leq 7,2$ °C) mensais (maio a setembro) por classes percentílicas na região da Serra Gaúcha na normal climatológica padrão 1991-2020.



na década três (Figura 9D). Por fim, em setembro, salienta-se que, em geral, a intensidade das anomalias foi menor do que as observadas em maio, com média extremamente baixa de anomalias positivas (2 HF) e ausência de valores acima/abaixo de média \pm 1DP na década três. Isso indicou a ocorrência de setembros mais quentes na última década da NCP 1991-2020, especialmente quando comparado com a década anterior, quando este mês se caracterizou por anomalias positivas mais altas (24 HF) e a ocorrência de cinco anos nos quais os acúmulos de HF foram superiores à média + 1DP (Figura 9E).

Relação entre a climatologia de HF e as exigências de frio de frutíferas de clima temperado

As médias regionais de HF no período hibernal (M-A, M-S e inverno) variaram entre 289 e 356 HF na NCP 1991-2020 (Figura 1). Portanto, visando reduzir o risco climático sobre o potencial produtivo, torna-se mais adequado o cultivo de genótipos que apresentem uma demanda máxima de 400 HF na região avaliada. Dentre as cultivares de videiras, todos os genótipos atualmente empregados na Serra Gaúcha já se enquadraram no limite máximo de 400 HF para superação da dormência (Tabela 4). Este resultado

Figura 8. Diagramas de dispersão das Horas de Frio ($HF \leq 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$) mensais (maio a setembro) na região da Serra Gaúcha nas décadas que compõem a normal climatológica padrão 1991-2020. ns= não significativo pelo teste de Kruskal-Wallis.

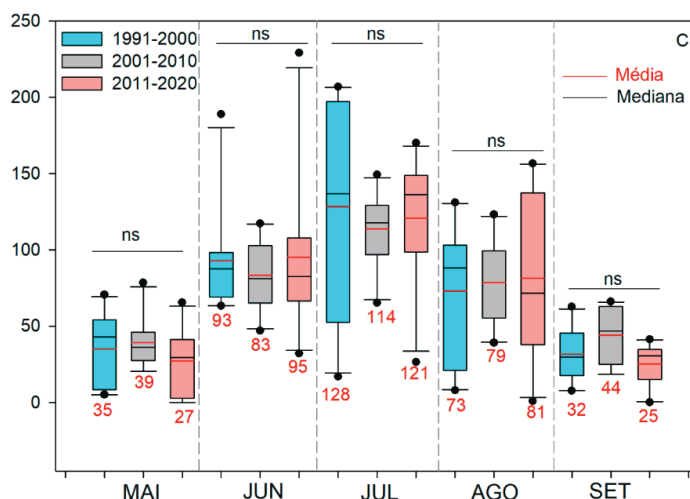
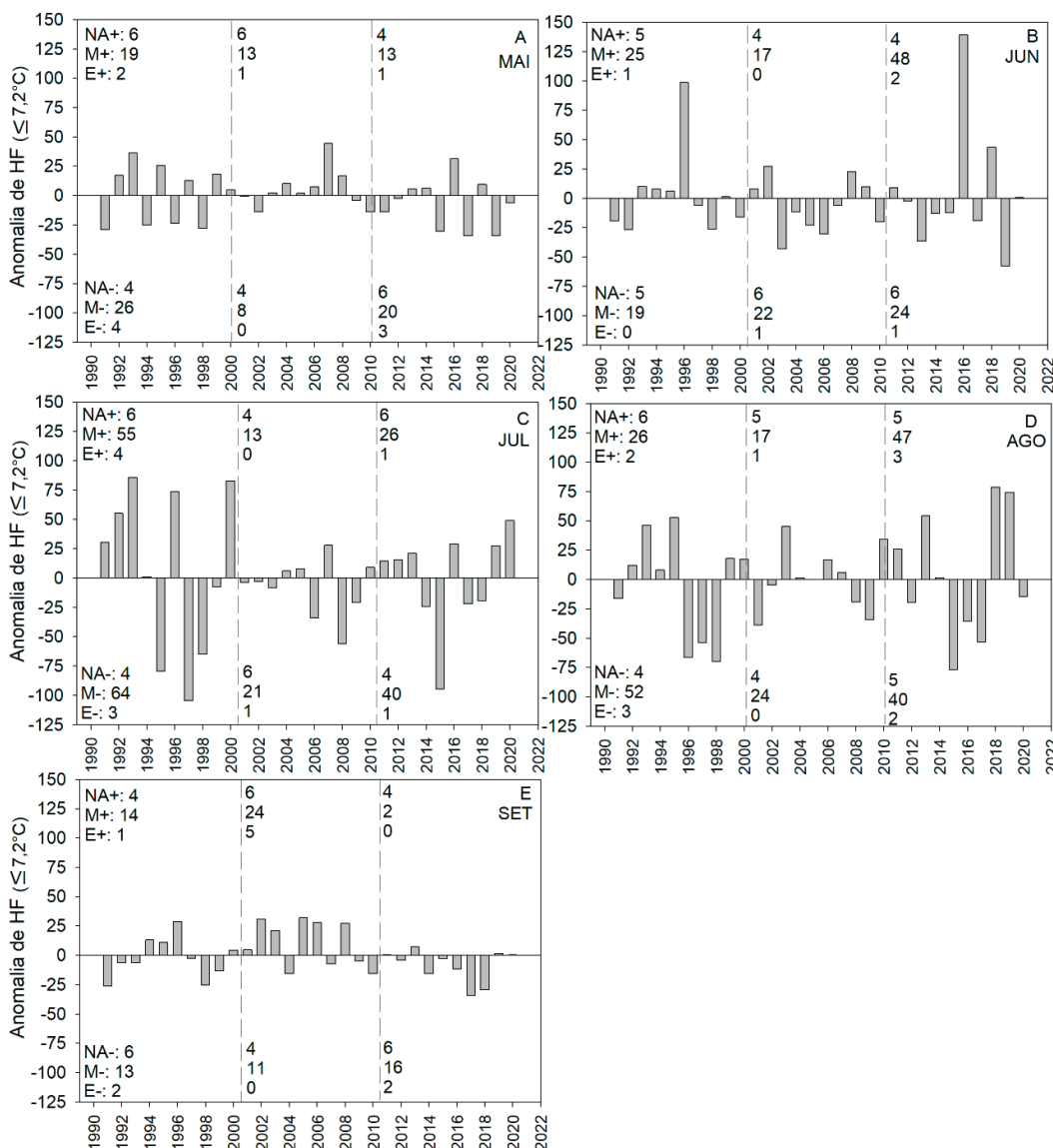


Figura 9. Transcurso temporal, número (NA) e média (M) de anomalias positivas (+) e negativas (-); número de anos com HF acima/abaixo de média ± 1 desvio-padrão (E+/E-) de Horas de Frio ($HF \leq 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$) mensais (maio a setembro) na região da Serra Gaúcha nas décadas que compõem a normal climatológica padrão 1991-2020.



corroborar com a realidade vitivinícola da região da Serra Gaúcha, que responde por 53% da produção de uvas e é a maior em produção de vinhos, espumantes e sucos do País (SEAPI, 2023). Bento Gonçalves, inclusive, está classificado como o segundo município com maior produção de uvas de mesa e de processamento no Rio Grande do Sul (SEAPI, 2023).

Quanto às demais espécies de clima temperado avaliadas, 89% das cultivares de pessegueiro teriam suas necessidades de frio atendidas pela média da NCP (próxima de 400 HF), seguido pelas de kiwizeiros (75%) e ameixeiras (60%) (Tabela 4). No Rio Grande do Sul, Estado que apresenta a maior área cultivada com pessegueiros do País, a região da Serra Gaúcha se destaca pela produção de cultivares destinadas ao consumo *in natura* (SEAPI, 2023), com grande oferta de cultivares com baixo e médio requerimento de frio.

As macieiras (33%) e pereiras (31%) foram as espécies frutíferas com menor percentual de cultivares que podem ter as demandas de frio supridas pelo valor médio de HF dos períodos M-A e M-S (Figura 1). Para adequada superação da dormência, a maior parte das cultivares dessas espécies necessita de um acúmulo acima de 500 HF (Tabela 4).

É importante salientar que estes resultados buscaram caracterizar climaticamente a região em termos de comparação entre disponibilidade de HF e as exigências dos principais genótipos, sendo baseados nos valores médios de HF dos períodos M-A e M-S. O cultivo de espécies e cultivares de maior exigência, no entanto, não é inviável, tendo em vista a variabilidade interanual que pode ocorrer no acúmulo de HF (Figura 1) e as estratégias de manejo que podem ser adotadas, especialmente no que se refere ao uso de produtos indutores de brotação. Tais produtos são usados para complementar o requerimento em frio e iniciar um novo ciclo vegetativo e reprodutivo das plantas em locais ou anos em que o frio natural é insuficiente para superar o estado de dormência (Morais & Carbonieri, 2015). Entretanto, considera-se que esses insumos agem positivamente somente se o ambiente suprir um mínimo de 50% da necessidade de HF do genótipo (Anzanello et al., 2020), tornando uma atividade de risco para os genótipos com exigências próximas de 1.000 HF (Tabela 4).

Considerando que as HF acumuladas no período M-A respondem, em média, por 90% do total de HF que ocorre no ano (período M-S) e a soma de HF no inverno representa 81% deste total (Figura 1D), os esforços de monitoramento e caracterização de HF dos períodos hibernais devem ser realizados até o mês de agosto. Apenas algumas cultivares, de alta exigência e com brotação tardia, é que podem, eventualmente, se beneficiar das HF acumuladas até setembro, pois esse frio tardio tende a ser prejudicial (queima de brotações) para a maioria dos genótipos de

brotação precoce e intermediária. Esse resultado também é importante para fins de modelagem, de prognóstico climático e até mesmo de orientação aos produtores. O inverno é o período que deve ser avaliado e empregado no estabelecimento das relações entre HF e os fenômenos meteorológicos de grande escala que atingem o Rio Grande do Sul.

Considerando os três períodos sucessivos da dormência (paradormência, endodormência e ecodormência), Anzanello et al. (2022) afirmam que uma planta frutífera pode apresentar gemas que estão, simultaneamente, em cada um desses períodos. Isso ocorre, especialmente, na etapa intermediária-final do período hibernal, quando endodormência e ecodormência podem ocorrer ao mesmo tempo. Nessa situação, a planta pode tanto acumular frio para superar a endodormência (caso a exigência de HF não tenha sido suprida), quanto responder ao calor, visando acumular soma-térmica para superação da ecodormência. Portanto, em regiões com invernos amenos, o acúmulo de HF ocorre lentamente, induzindo uma fase prolongada de endodormência e, conseqüentemente, se sobrepõe à ecodormência (Malagi et al., 2015). Invernos amenos também impõem condições de elevada flutuação (variabilidade) nas temperaturas diárias, o que pode comprometer a uniformidade de superação da endodormência, o percentual de brotação e o potencial produtivo das plantas. Isso ocorre em função de que temperaturas amenas durante o inverno afetam negativamente a superação da dormência de gemas, considerando que esse processo é revertido por temperaturas mais elevadas (Bergamaschi, 2017). Para Anzanello et al. (2014b) na dormência, temperaturas ≥ 15 °C por 36 horas contínuas ou mais anulam parcialmente o frio acumulado.

Na região da Serra Gaúcha, os meses do inverno, pelo fato de concentrarem o principal acúmulo de HF, têm grande influência sobre as frutíferas de ciclo precoce, como algumas cultivares de pessegueiro (ex.: “Tropic Beauty” e “Premier” - Tabela 4). Mesmo com pouco acúmulo de HF no período de inverno, essas cultivares já superam a endodormência e se tornam aptas a brotar com a ocorrência de calor. Contudo, após a brotação, as plantas desses genótipos podem perder a produção devido a possibilidade de ocorrência de geadas. Esses impactos têm sido observados com maior frequência em cultivares de pessegueiro que apresentam, no período de junho a agosto, frutos com diâmetro sutural inferior a 20 mm (endocarpo não endurecido), fase altamente suscetível aos danos por geadas (Assmann et al., 2008). Neste caso, o cultivo de genótipos com maior precocidade pode ser indicado apenas para locais com microclimas específicos na região da Serra Gaúcha, onde o risco de ocorrência de geadas é menor. De acordo com Anzanello et al. (2020), para as condições da Serra Gaúcha, o ideal seria a seleção de genótipos que apresentem baixo requerimento de HF (baixa endodormência), mas, ao mesmo tempo, com

Tabela 4. Exigência de frio hibernal (HF ≤ 7,2°C) de cultivares de pessegueiro, ameixeira, macieira, pereira, videira e kiwizeiro.

Pessegueiro	Horas de Frio	Fonte
BRS Mandinho	100 -150 HF	Raseira et al. (2022)
Tropic Beauty	150 HF	Dalbó et al. (2022)
Pepita	150 HF	Raseira et al. (2022)
Premier	150 HF	Petri et al. (2021)
Pampeano	≤ 200 HF	Anzanello e Lampugnani (2019)
Libra	≤ 200 HF	Raseira et al. (2022)
Bonão	≤ 200 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Citrino	≤ 200 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Jaspe	200 HF	Raseira et al. (2022)
Granada	200 HF	Raseira et al. (2022)
Cerrito	200 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Kampai	200 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Rubimel	200 - 300 HF	Raseira et al. (2022)
BRS RubraMoore	200 - 300 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Fascínio	200 - 300 HF	Raseira et al. (2022)
Chimarrita	200 - 300 HF	Raseira et al. (2022)
Maciel	200 - 300 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Serenata	300 HF	Raseira et al. (2022)
BRS Regalo	300 HF	Raseira et al. (2022)
Marli	300 HF	Raseira et al. (2022)
Charme	300 HF	Raseira et al. (2022)
Coral	350 HF	Petri et al. (2021)
Barbosa	400 HF	Raseira et al. (2022)
Della Nona	400 HF	Raseira et al. (2022)
Planalto	400 - 500 HF	Raseira et al. (2022)
Chiripá	500 HF	Petri et al. (2021)
Eragil	500 HF	Anzanello & Lampugnani (2019)
Robidoux	600 HF	Petri et al. (2021)
Ameixeira	Horas de Frio	Fonte
Gulf Ruby	200 HF	Simonetto et al. (2007)
Gulf Blaze	200 HF	Anzanello (2020)
Irati	300 - 400 HF	Simonetto et al. (2007)
Reubennel	300 - 400 HF	Simonetto et al. (2007)
Polli Rosa	300 - 400 HF	Simonetto et al. (2007)
América	400 HF	Simonetto et al. (2007)
Amarelinha	400 HF	Petri et al. (2021)
Harry Pickstone	400 HF	Petri et al. (2021)
Pluma 7	400 HF	Simonetto et al. (2007)
Fortune	500 HF	Dalbó et al. (2022)
SCS 410 Piúna	500 HF	Dalbó et al. (2022)
SCS 438 Zafira	500 HF	Dalbó et al. (2022)
Frontier	500 - 600 HF	Simonetto et al. (2007)
Santa Rosa	600 HF	Petri et al. (2021)
Letícia	600 HF	Anzanello (2020)
Kiwizeiro	Horas de Frio	Fonte
Golden King	200 HF	Fogaça et al. (2020)
MG-06	200 HF	Fogaça et al. (2020)
Yellow Queen	300 HF	Fogaça et al. (2020)
Kuimi	300 HF	Fogaça et al. (2020)
Bruno	300 - 400 HF	Petri et al. (2021)
Elmwood	300 - 500 HF	Silveira et al. (2012)
Monty	500 - 600 HF	Petri et al. (2021)
Hayward	800 - 1000 HF	Petri et al. (2021)

Macieira	Horas de Frio	Fonte
Castel Gala	300 HF	Anzanello et al. (2014a)
Condessa	400 HF	Petri et al. (2021)
Princesa	400 HF	Petri et al. (2021)
Eva	< 450 HF	Denardi et al. (2013)
Julieta	< 450 HF	Denardi et al. (2013)
Baronesa	450 - 700 HF	Denardi et al. (2013)
Fred Hough	450 - 700 HF	Denardi et al. (2013)
Imperatriz	450 - 700 HF	Denardi et al. (2013)
Monalisa	450 - 700 HF	Denardi et al. (2013)
Joaquina	450 - 700 HF	Denardi et al. (2013)
Royal Gala	600 HF	Anzanello et al. (2014a)
Imperial Gala	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Baigent	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Maxi Gala	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Daiane	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Kiku	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Fuji Suprema	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Fuji Mishima	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Granny Smith	> 700 HF	Denardi et al. (2013)
Golden Delicious	800 HF	Petri et al. (2021)
Pereira	Horas de Frio	Fonte
Kieffer	300 HF	Brighenti (2012)
Le Conte	300 - 400 HF	Brighenti (2012)
Ya Li	400 - 500 HF	Brighenti (2012)
Seleta	400 - 500 HF	Brighenti (2012)
Carrick	400 - 500 HF	Brighenti (2012)
Kousui	600 - 700 HF	Brighenti (2012)
Housui	700 - 800 HF	Brighenti (2012)
Packham's Triumph	700 - 800 HF	Brighenti (2012)
Abate Fetel	800 - 900 HF	Brighenti (2012)
Rocha	800 - 900 HF	Brighenti (2012)
William's	900 - 1000 HF	Brighenti (2012)
Max Red Bartlet	900 - 1000 HF	Brighenti (2012)
Beurre d'Anjou	900 - 1000 HF	Brighenti (2012)
Doyenne du Comice	900 - 1000 HF	Brighenti (2012)
Forelle	900 - 1000 HF	Brighenti (2012)
Winter Bartlet	1000 - 1100 HF	Brighenti (2012)
Videira	Horas de Frio	Fonte
Bordó	50 HF	Peruzzo et al. (2014)
Concord	50 HF	Peruzzo et al. (2014)
Isabel	50 HF	Peruzzo et al. (2014)
Niágara Rosada	50 HF	Peruzzo et al. (2014)
Chardonnay	150 HF	Anzanello et al. (2018)
Riesling Itália	150 HF	Anzanello (2024)
Pinot Noir	150 HF	Junges et al. (2020)
Tannat	250 HF	Anzanello (2024)
Lorena	200 - 300 HF	Emater (2018)
Merlot	300 HF	Anzanello et al. (2018)
Itália	300 HF	Anzanello (2019)
Moscato	300 - 400 HF	Emater (2018)
Cabernet Franc	400 HF	Anzanello (2024)
Cabernet Sauvignon	400 HF	Anzanello et al. (2018)

elevada necessidade de calor ou soma térmica para atingir o início da brotação (alta ecodormência). Essa combinação permitiria que as cultivares fossem adaptadas à condição de invernos amenos ou com oscilação nas temperaturas do ar e no acúmulo de HF, garantindo uma brotação adequada e contemplando a necessidade de atraso do início da brotação, para que se minimizem os riscos de danos por geadas.

Em alguns anos, a soma de HF do inverno representou menos de 73% do total do período M-S (Figura 1D) e, nesses casos, os meses maio e, especialmente, setembro apresentaram uma contribuição maior no total de HF de M-S. Além disso, dada a maior variabilidade interanual das HF no final do outono (maio) e início da primavera (setembro), é importante considerar os efeitos das oscilações, tanto negativas quanto positivas, sobre as plantas. Quando o mês de maio é quente e há baixo acúmulo de HF, as plantas tendem a manter a área foliar no início do outono, principalmente com práticas de manejo que favoreçam a sanidade destes tecidos. Essa manutenção de área foliar no período pós-colheita garante a fotossíntese e o acúmulo de reservas nas plantas, o que favorece a brotação do ciclo seguinte (Keller, 2020). Além disso, quanto menores são os valores de HF em maio, mais favoráveis são as condições para a maturação/lignificação dos ramos e a diferenciação de gemas. A atividade fotossintética pós-colheita, com formação e acúmulo de reservas de carbono, tem impacto sobre o processo de transformação das gemas vegetativas em floríferas (Petri et al., 2016). Por outro lado, um acúmulo excessivo e precoce de HF (no final do outono-início do inverno), seguido de um acúmulo de calor (ocorrência de veranicos) pode desencadear o florescimento antecipado, especialmente em cultivares de ciclo precoce (como cultivares de pessegueiro – Tabela 4). Essa condição também favorece as respostas erráticas e com amplitude de variação (quando, em uma mesma planta existem flores, frutos, gemas dormentes e folhas), padrão fenológico que torna a produção irregular e que altera o ciclo da planta no ano (Bergamaschi, 2017).

Em setembro, a variabilidade de HF pode ser favorável ou desfavorável, de acordo com o ciclo das cultivares. Quando setembro for classificado como um período de alto acúmulo de HF, a situação é favorável para as cultivares tardias (com alta exigência de HF), como algumas cultivares de kiwi, pera e maçã (Tabela 4), pois permite atender a demanda de frio desses genótipos ainda na fase da endodormência. Por outro lado, para as cultivares de ciclo precoce, os frios que ocorrem em setembro podem provocar atrasos na brotação ou no crescimento inicial e desenvolvimento de flores e frutos, além de favorecer os danos por congelamento pela ocorrência de geadas. Em contrapartida, nos anos com setembro quente (baixo acúmulo de HF e sem ocorrência de geadas), as cultivares precoces são favorecidas, mas a situação demanda cuidados

(ex.: manejo com indutores de brotação) para as cultivares tardias e com maior exigência de HF. Nesse sentido, salienta-se a importância do monitoramento constante da evolução gradual do acúmulo de HF e a sua distribuição temporal (meses), uma vez que tal informação, confrontada com as necessidades totais de HF de cada genótipo, permite o uso racional de indutores de brotação, obtendo maior eficiência do manejo, em termos de dosagens e impactos ambientais.

Diante do exposto, destaca-se que as informações relacionadas à ocorrência de HF devem ser continuamente geradas por meio da coleta, registro e análise dos dados meteorológicos e quantificação e avaliação da distribuição espaço-temporal das HF. A partir de bancos de dados meteorológicos pode-se, então, caracterizar a disponibilidade de HF, em termos climáticos, e continuamente atualizá-la. Além disso, salienta-se a importância dos programas de melhoramento genético considerarem a caracterização dos genótipos em termos de exigências de HF, visando o melhor zoneamento dos cultivos a partir do confronto entre a disponibilidade climática de HF *versus* a exigência de HF para superação da endodormência. Esse confronto deve ser contínuo, com a quantificação, análise e caracterização anual das HF ocorridas, para que se estabeleçam os efeitos e as estratégias possíveis de manejo para se amenizar eventuais riscos ou danos. As HF são, portanto, um parâmetro agrometeorológico fundamental para os zoneamentos agroclimáticos, para os ajustes de manejo de brotação e para a caracterização do potencial produtivo das safras em diferentes anos e locais.

Conclusões

Na Serra Gaúcha, as médias de HF na NCP 1991-2020 situam-se na faixa de 300 a 400 HF em maio a agosto (M-A) e maio a setembro (M-S), períodos frequentemente empregados no monitoramento do frio hibernal. Há elevada variação interanual no acúmulo de HF e são mais frequentes as anomalias de até 50 HF (tanto positivas quanto negativas). O inverno contribui, em média com 81% do total de HF de M-S e deve ser o período prioritário para monitoramento, modelagem e previsão de HF.

A maior média mensal de HF na região da Serra Gaúcha ocorre em julho, seguido, em ordem decrescente, por junho e agosto. A média é menor e similar nos meses inicial (maio) e final (setembro) do período de repouso vegetativo (dormência) de frutíferas de clima temperado, quando também ocorre a maior variabilidade entre anos.

Considerando as médias climatológicas, para redução do risco climático sobre o potencial produtivo de frutíferas de clima temperado, torna-se mais adequado o cultivo de genótipos que apresentem uma demanda máxima de 400 HF na região da Serra Gaúcha.

A climatologia das HF na região da Serra Gaúcha contribui para o zoneamento dos cultivos, permitindo o confronto entre a disponibilidade climática de HF versus a exigência de HF das espécies e cultivares para superação da dormência. Esse confronto deve ser contínuo, com a quantificação, análise e caracterização anual das HF ocorridas, para que se estabeleçam os efeitos e as estratégias de manejo para redução de risco à produção.

Contribuição dos autores

A. H. JUNGES e R. ANZANELLO concepção do trabalho, aquisição e análise dos dados e redação do artigo. D. C. FONTANA e H.P. SANTOS concepção do trabalho, redação e revisão do artigo.

Referências

- ANZANELLO, R. Requerimentos de frio de videiras 'Riesling Itália', 'Tannat' e 'Cabernet Franc' no período de dormência. *Revista Científica Eletrônica da UERGS*, v.10, n.1, p.22-30, 2024. DOI: 10.21674/2448-0479.101.22-30
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F.B.; SANTOS, H.P. Bud dormancy evolution in apple genotypes with contrasting chilling requirements. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.44, n.2, p.1-11, 2022. DOI: 10.1590/0100-29452022868
- ANZANELLO, R.; CHRISTO, M. C.; SARTORI, G. Superação da dormência em macieira: efeito do frio combinado com uso de indutor de brotação. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.26, n.1, p.190-200, 2020. DOI: 10.36812/pag.2020261190-200
- ANZANELLO, R. Temperaturas efetivas e necessidade de frio de dois cultivares de ameixeira. *Agropecuária Catarinense*, v.33, n.3, p. 37-41, 2020. DOI: 10.52945/rac.v33i3.1038
- ANZANELLO, R.; LAMPUGNANI, C.S. Necessidade de frio no período de dormência em pessegueiros. *Scientia Rural*, v.49, n.1 p.148-155, 2019.
- ANZANELLO, R. Evolution of the grapevine bud dormancy under different thermal regimes. *Semina: Ciências Agrárias*, v.40, n.6, p.3419-3428, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl3p3419
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F.B.; SANTOS, H.P. Chilling requirements and dormancy evolution in grapevine buds. *Ciência e Agrotecnologia*, v.42, n.4, p.364-371, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018424014618
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F.B.; SANTOS, H.P.; BERGAMASCHI, H.; MARODIN, G.A.B. Métodos biológicos para avaliar a brotação de gemas em macieira para modelagem da dormência. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.3, p.1163-1176, 2014a. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1163
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F.B.; SANTOS, H.P.; BERGAMASCHI, H.; MARODIN, G.A.B. Bud dormancy in apple trees after thermal fluctuations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.6, p.457-464, 2014b. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000600007
- ASSMANN, A. P. et al. Tolerância de frutos de pessegueiro a geadas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 4, p.1030-1035, 2008. DOI: 10.1590/S0100-29452008000400031
- BERGAMASCHI, H. Temperatura do ar. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. *As plantas e o clima: princípios e aplicações*. Guaíba: Agrolivros, 2017. p.137-185.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. *El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.
- BRIGHTENI, L.M. Dormência da pereira. In: RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A.A.; BOGO, A. *A cultura da pereira*. Florianópolis: DIOESC, 2012. p.112-122.
- BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.3, p.1-12, 2008.
- DALBÓ, M.A.; DELLA BRUNA, E.; SOUZA, A.L.K. Ameixa. In: EPAGRI. *Avaliação de cultivares para o estado de Santa Catarina 2022-2023*. Florianópolis: EPAGRI, 2022. p.9-13.
- DALBÓ, M.A.; SOUZA, A.L.K.; DELLA BRUNA, E.; MOTER, I.V.; BRUGNARA, E. Pêssego e Nectarina. In: EPAGRI. *Avaliação de cultivares para o estado de Santa Catarina 2022-2023*. Florianópolis: EPAGRI, 2022. p.84-87.
- DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; FIORAVANÇO, J.C.; OLIVEIRA, P.R.D. Variedades. In: FIORAVANÇO, J.C.; SANTOS, R.S.S.S. *Maçã: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p.36-50.
- DOLE, J. Standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in bulbs, corms, and tubers. *HortScience*, v.38, n.3, p.341-346, 2001. DOI: 10.21273/HORTSCI.38.3.347
- EMATER. Para cada variedade de uva, um número de horas de frio necessária, 2018. Disponível em: <https://www.gazetanewsrs.com.br/2018/09/para-cada-variedade-de-uva-um-numero-de-horas-de-frio-necessaria/> Acesso em: 19 out 2023.
- FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.1, p. 95-106, 2012. DOI: 10.1590/S0102-77862012000100010
- FOGAÇA, C. M.; ANZANELLO, R.; SARTORI, G.B.D. *Aspectos culturais de kiwizeiros de polpa amarela (Actinidia chinensis)*. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020 (Circular: Divulgação Técnica, n.4).
- FORTUNE, M.A.; KOUSKY, V.N.; FERREIRA, N.J. Duas geadas críticas no Brasil: precursores no Oceano Pacífico e evolução na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Pelotas. *Anais*. Pelotas: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 2, p. 180-214.
- HERTER, F. G.; WREGE, M. S.; RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, I. dos S.; STEINMETZ, S. *Zoneamento agroclimático do pessegueiro e da nectarineira para o Rio Grande do Sul*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 27 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 91).
- JUNGES, A.H.; SANTOS, H.P.; GARRIDO, L.R.; TONIETTO, J. *Boletim Agrometeorológico da Serra Gaúcha Edição Agosto 2020: condições meteorológicas de junho e julho de 2020, prognóstico climático para o bimestre agosto-setembro e recomendações fitotécnicas para viticultura*. Bento Gonçalves: Comitê Local de Publicações - Embrapa Uva e Vinho, 2020, 10p. (Publicação técnica).
- JUNGES, A.H.; FONTANA, D.; ANZANELLO, R. *Climatologia das horas de frio em Veranópolis: análise do banco de dados do Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (CEFRUTI)*. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2024. 48 p. (Boletim técnico: pesquisa e desenvolvimento, 12).
- JÚNIOR, M.J.P.; BARBOSA, W.; ROLIM, G.S.; CASTRO, J.L. Época de florescimento e horas de frio para pessegueiros e nectarineiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.29, n.3, p.425-430, 2007. DOI: 10.1590/S0100-29452007000300005
- KELLER, M. *The Science of Grapevines*. 3th ed. London: Elsevier Academic Press, 2020. 1647p.
- LANG, G. A.; EARLY, J. D.; MARTIN, G. C.; DARNELL, R. L. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hortscience*, v. 22, n. 3, p. 371-178, 1987. DOI: 10.21273/HORTSCI.22.5.701b
- MALAGI, G.; SACHET, M. R.; CITADIN, I.; HERTER, F. G.; BONHOMME, M.; REGNARD, J. L.; LEGAVE, J. M. The comparison of dormancy dynamics in apple trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. *Trees*, v. 29, p. 1365-1380, 2015. DOI: 10.1007/s00468-015-1214-3
- MALUF, J.R.T.; CUNHA, G.R.; MATZENAUER, R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PASINATO, A.; MALUF, D.E. *Zoneamento agroclimático da videira europeia (Vitis vinifera L.) e videira americana (Vitis labrusca L.) no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: FEPAGRO, 2014. 63p.

- MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STEINMETZ, S.; MALUF, D.E. **Zoneamento agroclimático da macieira no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2011. 75 p.
- MATZENAUER, R.; BUENO, A. C.; CARGNELUTTI FILHO, A.; DIDONÉ, I. A.; MALUF, J. R. T.; HOFMAN, G.; TRINDADE, J. K. da; STOLZ, A.; SAWASATO, J. T.; VIANA, D. R. Horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1-2, p. 71-76, 2005.
- MATZENAUER, R.; BUENO, A.C.; MALUF, J.R.T.; WREGE, M.S.; VIANA, D.R.; SANTOS, M.; CUNHA, L.F. Regime anual e estacional de horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.13, n.1-2, p.11-16, 2007.
- MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, v.5, p.323-331, 2017.
- MORAIS, H.; CARBONIERI, J. Horas e unidades de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.1, p.1-12, 2015. DOI: 10.1590/0100-2945-005/14
- PERTILLE, R. H.; CITADIN, I.; OLIVEIRA, L. de S. de; BROCH, J. C. de; KVITSCHAL, M. V.; ARAUJO, L. The influence of temperature on the phenology of apple trees grown in mild winter regions of Brazil, based on long-term records. **Scientia Horticulturae**, v. 305, p. 111354, 2022. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111354
- PERUZZO, S.N.; MARCHI, V.V.; SANTOS, H.P.; FIALHO, F.B. ; SOUZA, D.A. Necessidade de horas de frio para superação da endodormência em cultivares *Vitis labrusca* L.. In: 4º SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO IFRS, 2014, Bento Gonçalves, RS. **Anais**. Bento Gonçalves, RS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2014.
- PETRI, J.L.; SEZERINO, A.A.; HAWERROTH, F.J.; PALLADINI, L. A.; LEITE, G.B.; DE MARTIN, M.S. **Dormência e indução à brotação de árvores frutíferas de clima temperado**. Florianópolis: Epagri, 2021, 153p. (Boletim Técnico, 192).
- PETRI, J.L.; HAWERROTH, F.J.; LEITE, G.B.; SEZERINO, A.A.; COUTO, M. **Reguladores de crescimento para frutíferas de clima temperado**. Florianópolis: Epagri, 2016. 141p.
- RADIN, B.; COSTA, B.P.; MELO, R.W. El Niño Southern Oscillation and the accumulation of chilling hours for dormancy breaking in temperate fruit in Southern Brazil. **Ciência Rural**, n.54, v.4, 2024. DOI: 10.1590/0103-8478cr20220340
- SEAPI. **Radiografia da Agropecuária do Rio Grande do Sul 2023**. Porto Alegre: SEAPI, 2023. 43 p.
- RASEIRA, M.C.N.; PEREIRA, J.F.M.; CARVALHO, F.L.C. **Cultivo do pessegueiro**. 2.ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 200 p. (Sistemas de Produção, 4).
- RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. A model for estimating the completion of rest for Redhaven and Elberta peach trees. **HortScience**, v.9, n.4, p.331-332, 1974. DOI: 10.21273/HORTSCI.9.4.331
- SIMONETTO, P.R.; FIORAVANÇO, J.C.; RASEIRA, M.C.B.; GRELLMANN, E.O. **Fenologia e características agrônômicas de cultivares de ameixeira (*Prunus salicina* Lindl.) recomendadas para a região serrana do RS**. 2.ed. Porto Alegre: Fepagro; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 14p. (Circular Técnica, 27).
- SILVEIRA, S.V.; ANZANELLO, R.; SIMONETTO, P.R.; GAVA, R.; GARRIDO, L.R.; GIRARDI, C.L. **Aspectos técnicos da produção de quiwi**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. 82 p. (Documentos, 79).
- SPADARI, L.; GIOVANINNI, E. Quebra de dormência em 'Cabernet Sauvignon' (*Vitis vinifera* L.) com cianamida hidrogenada. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, v.1, n.1, p.20-28, 2009.
- WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; CAMELATTO, D.; REISSER JÚNIOR, C.; GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; IUCHI, T.; BERNARDI, J.; VERÍSSIMO, V.; MATZENAUER, R. **Zoneamento agroclimático para pereira no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 29 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 182).
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; JÚNIOR, C.R.; ALMEIDA, I.R. Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.
- WREGE, M.S.; HERTER, F.G.; FRITZSONS, E. Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 108-121, 2016.

REFERENCIAÇÃO

JUNGES, A. H.; ANZANELLO, R.; FONTANA, D. C.; SANTOS, H. P. Climatologia das horas de frio e relação com cultivo de frutíferas de clima temperado na Serra Gaúcha. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.32, e027706, 2024.



Chilling hours climatology and relationship with temperate fruit trees cultivation in the Serra Gaúcha region, Brazil

Amanda Heemann Junges^{1(*)}, Rafael Anzanello¹, Denise Cybis Fontana² and Henrique Pessoa dos Santos³

¹Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura – CEFRUTI, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Rodovia BR 470 km 171, s/n, CEP 95330-000 Veranópolis, RS, Brazil.

E-mails: amanda-junges@agricultura.rs.gov.br and rafael-anzanello@agricultura.rs.gov.br

²Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000 Porto Alegre, RS, Brazil.

E-mail: dfontana@ufrgs.br

³Embrapa Uva e Vinho. Rua Livramento, 515, CEP 95701-008 Bento Gonçalves, RS, Brazil. E-mail: henrique.p.santos@embrapa.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2024

Accepted 2 October 2024

Index terms:

dormancy

winter cold

averages

anomalies

ABSTRACT

Bud dormancy overcoming in temperate fruit trees are related to the accumulated chilling hours (CH). CH are essential to appropriate budburst, flowering and to productive potential expression. The objective of this work was to define the climatology of CH for the Serra Gaúcha region in the climatological standard normal 1991-2020, and compare the climatic availability with the needs of the species/cultivars. To this, monthly (May to September) and accumulated CH in winter (June to August), May-August (M-A) and May-September (M-S) data from Veranópolis and Bento Gonçalves were used. The results showed that CH averages were 289 (winter), 322 (M-A), and 356 (M-S). There was elevated interannual variability in the CH of the periods, however the percentages of years with values higher/lower than average \pm 1 standard deviation were similar; as well as the frequency of positive and negative CH anomalies. Winter contributes, on average, with 81% of total M-S CH and should be the priority period for CH monitoring. The highest monthly average CH occurred in July (121 CH) and the lowest in May and September (34 CH). Considering the climatological averages, it is more appropriate to cultivate genotypes with maximum demand of 400 CH. The climatology of CH provides important information for the climate risk reduction in temperate fruit trees production.

© 2024 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

JUNGES, A. H.; ANZANELLO, R.; FONTANA, D. C.; SANTOS, H. P. Climatologia das horas de frio e relação com cultivo de frutíferas de clima temperado na Serra Gaúcha. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.32, e027706, 2024.