



## **CLIMATOLOGIA DO NÚMERO DE HORAS FRIO PARA TRÊS CIDADES DO SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Flávia Fernanda Azevedo Fagundes<sup>1</sup>

Iara Stéfani Carneiro da Silva<sup>2</sup>

Isis da Rocha Plum Ferreira<sup>2</sup>

Marília Freitas de Oliveira<sup>2</sup>

Mirian Ribeiro da Silva<sup>2</sup>

Fabrina Bolzan Martins<sup>3</sup>

### **Educação Ambiental**

#### ***Resumo***

As frutíferas de clima temperado (FCT) necessitam acumular quantidade suficiente de frio invernal para iniciarem um novo ciclo de desenvolvimento. Esse acúmulo de frio é definido como número de horas frio (NHF), que se refere ao número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de determinada temperatura base (Tb), sendo a Tb variável entre as espécies/cultivares de FCT. Nesse sentido, conhecer a climatologia do NHF é um parâmetro imprescindível para a introdução de FCT para uma determinada região. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar e determinar a climatologia do NHF para três cidades do sudoeste de Minas Gerais (Passos, São Sebastião do Paraíso e Varginha), considerando dois valores de Tb: 7°C e 13°C. Para isso, primeiramente calculou-se o NHF diário utilizando dados diários de temperatura mínima e máxima do ar para o período de 15 de maio 1985 a 15 de setembro de 2014. Posteriormente, foi obtida a variabilidade anual do NHF pelo acúmulo do NHF diário e então, determinada a climatologia do NHF para cada cidade e Tb. Foi possível observar variabilidade do NHF entre as cidades, sendo que Varginha apresentou os maiores acúmulos de NHF (em média 110 horas para Tb=7°C e 835 horas para Tb=13°C). Pela climatologia apenas figo, pêssego, oliveira, marmelo e uva podem ser cultivados na região devido ao acúmulo entre ~50 a 450 horas.

**Palavras-chave:** Dormência; Frutíferas de clima temperado; Frio invernal; Temperatura do ar, Temperatura base.

---

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, [flaviaffag@gmail.com](mailto:flaviaffag@gmail.com).

<sup>2</sup>Alunas de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, [iarascsilva91@gmail.com](mailto:iarascsilva91@gmail.com), [isisferreira85@gmail.com](mailto:isisferreira85@gmail.com), [d2019012402@unifei.edu.br](mailto:d2019012402@unifei.edu.br), [miriansilva21@gmail.com](mailto:miriansilva21@gmail.com).

<sup>3</sup>Profa. Associada. Dra. Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, [fabrinabm@gmail.com](mailto:fabrinabm@gmail.com).

## INTRODUÇÃO

A temperatura do ar é a variável chave na distribuição das frutíferas de clima temperado (FCT) (SANTOS et al., 2017; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020). Tais frutíferas necessitam acumular quantidade suficiente de temperaturas abaixo da temperatura base ( $T_b$ ) para saírem do repouso invernal e iniciem um novo ciclo vegetativo/reprodutivo (EGEA et al., 2003; MATZENAUER et al., 2007; SANTOS et al., 2017; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020). Ou seja, durante o repouso invernal ocorre redução das atividades metabólicas e fisiológicas e ausência de crescimento vegetativo visível (MATZENAUER et al., 2007; SANTOS et al., 2017), o que é benéfico das FCT em condições adversas de frio durante o inverno (FADÓN et al., 2020).

O acúmulo de frio é quantificado pelo número de horas de frio (NHF), que se refere ao número de horas em que a temperatura do ar se encontra abaixo da  $T_b$ , a qual é variável entre as espécies e cultivares. Em geral, utilizam-se os valores de  $T_b$  de 7°C e 13°C, para superação do repouso invernal em culturas mais exigentes, e menos exigentes em frio, respectivamente (SANTOS et al., 2017; MARTINS et al., 2020). O cômputo do NHF pode ser realizado por vários métodos, desde os mais simples aos mais complexos (RICHARDSON et al., 1974; PEDRO JR. et al., 1979; HELDWEIN et al., 1989; BURIOL et al., 2000; HELDWEIN et al., 2000; ALVARENGA et al., 2002; LUEDELING et al., 2009). Dentre eles, o método analítico de Pola e Angelocci (1993) é capaz de refazer a curva diária de temperatura para qualquer local e  $T_b$ , desde que se tenha dados diários de temperatura mínima e máxima do ar (SANTOS et al., 2017). Por essa habilidade, é um método vantajoso.

O acúmulo insuficiente de NHF pode gerar anomalias fisiológicas, como queda de gemas floríferas/frutíferas, atraso na brotação e floração, e se persistentes no tempo causa redução da produção, queda de qualidade dos frutos e diminuição da longevidade das FCT (EGEA et al., 2003; SANTOS et al., 2017; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020). Devido às limitações fisiológicas dessas FCT ao acúmulo insuficiente de NHF é fundamental quantificar a quantidade e também a climatologia do NHF de cada região, a fim de determinar as áreas aptas ao cultivo dessas culturas e de garantir o manejo

Realização

Apoio

adequado (MATZENAUER et al., 2007; SANTOS et al., 2017).

Dessa forma, os objetivos desse trabalho foram: i) quantificar a quantidade NHF para o clima presente (1985-2014) e ii) determinar a climatologia de NHF para as cidades de Passos, São Sebastião e Varginha, localizadas no sudoeste de Minas Gerais entre 1985 a 2014, considerando os dois valores de  $T_b$  (7°C e 13°C).

## METODOLOGIA

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima ( $T_{max}$ , °C) e mínima ( $T_{min}$ , °C) do ar para as cidades de Passos (20°43'13"S, 46°36'36"W, 745 m de altitude), São Sebastião do Paraíso (20°55'2"S, 46°59'29"W, 820 m de altitude) e Varginha (21°32'47"S, 45°25'51"W, 980 m de altitude), todas localizadas no sudoeste de Minas Gerais. Os dados foram obtidos do banco de dados especializados por ponto de grade (0,25° X 0,25°) disponibilizados por Xavier et al. (2016), que derivam de dados de observações com rigoroso controle de qualidade (MONTEIRO et al., 2021). O período utilizado foi de 15 de maio a 15 de setembro, que corresponde ao período de acúmulo de frio invernal para a região de estudo (GARCIA et al., 2018; MARTINS et al., 2020).

Para o cômputo do NHF foi utilizado o método analítico de Pola e Angelocci (1993) que se baseia em duas etapas: i) reconstrução da curva diária da temperatura horária através de funções senoidais de resfriamento (equação 1) e aquecimento (equação 2), e ii) obtenção do NHF diário (equação 3).

$$Tr(t) = TM1 + (Tm - TM1) \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t - tm1)}{(tm2 - tm1)} \right] \quad (1)$$

Em que:  $Tr(t)$  = temperatura estimada no tempo  $t$  durante o resfriamento diário;  $TM1$  = temperatura máxima do dia anterior;  $Tm$  = temperatura mínima do dia;  $t$  = tempo que varia de 0 a 16;  $tm1$  = tempo inicial ( $tm1=0$ );  $tm$  = tempo decorrido das 15h do dia anterior até as 7h do dia ( $tm=16h$ ).

$$Ta(t) = Tm + (TM2 - Tm) \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t - tm)}{(tm2 - tm)} \right] \quad (2)$$

Em que:  $Ta(t)$  = temperatura estimada no tempo  $t$  durante o aquecimento diário;  $t$  = tempo que varia de 16 a 24;  $TM2$  = temperatura máxima do dia;  $Tm$  = temperatura mínima;  $tm2$

Realização

Apoio

= tempo final ( $tm_2=24h$ );  $tm$  = tempo decorrido das 15h do dia anterior até as 7h do dia ( $tm=16h$ ).

$$NHFd = \begin{cases} 0; & TM1 \geq Tb; TM2 \geq Tb; Tm \geq Tb \\ 24; & TM1 < Tb; TM2 < Tb \\ tz - ta; & TM1 > Tb; TM2 > Tb; Tm < Tb \\ tz - tm_1; & TM1 \leq Tb; TM2 > Tb; Tm < Tb \\ tm_2 - ta; & TM1 > Tb; TM2 \leq Tb \end{cases} \quad (3)$$

Em que: NHFd= número de horas frio acumulada diariamente;  $ta$ = horário em que a temperatura em decréscimo se iguala à  $T_b$ ;  $tz$ = horário em que a temperatura em elevação se iguala à  $T_b$ .

Por fim, o NHFd foi acumulado anualmente para todo o período (1985 – 2014) e, posteriormente, foi obtida a climatologia do NHF anual, dada pela média climatológica do NHF de todo o período (SANTOS et al., 2017; MARTINS et al., 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mesmo com a variabilidade anual do NHF, Passos e São Sebastião do Paraíso apresentaram o menor acúmulo NHF para ambos valores de  $T_b$  ( $7^\circ C$  e  $13^\circ C$ ) (Figura 1). Em contrapartida, Varginha apresentou maior NHF para a  $T_b = 7^\circ C$  (~109,6 horas), e  $T_b = 13^\circ C$  (~834,7 horas). Essa variabilidade interanual pode ser prejudicial para o desenvolvimento de FCT, pois em anos de menores acúmulos de NHF a brotação e floração podem ser comprometidas, reduzindo a produtividade (SANTOS et al., 2017). Além disso, locais com acúmulo insuficiente de NHF

Segundo a classificação climática de Köppen, Passos e São Sebastião do Paraíso possuem clima tropical com seca de inverno – Aw (MARTINS et al., 2018), sendo comum temperaturas maiores que  $18^\circ C$  em todos os meses do ano, e menor acúmulo de NHF. No entanto, Varginha possui clima subtropical com verões quentes – Cwa – e invernos com temperaturas  $< 17^\circ C$  sendo factível acumular frio, principalmente abaixo da  $T_b = 13^\circ C$ . Além disso, a diferença de altitude entre as três cidades pode justificar os registros de menores valores de temperatura do ar, o que por sua vez favorece o acúmulo de frio (MARTINS et al., 2018). Como Varginha possui 980m de altitude, ocorre maior frequência de registros de menores valores de temperatura, contribuindo para o maior

acúmulo de NHF, enquanto Passos (745m de altitude) e São Sebastião do Paraíso (820m de altitude) possuem menores acúmulos de NHF.

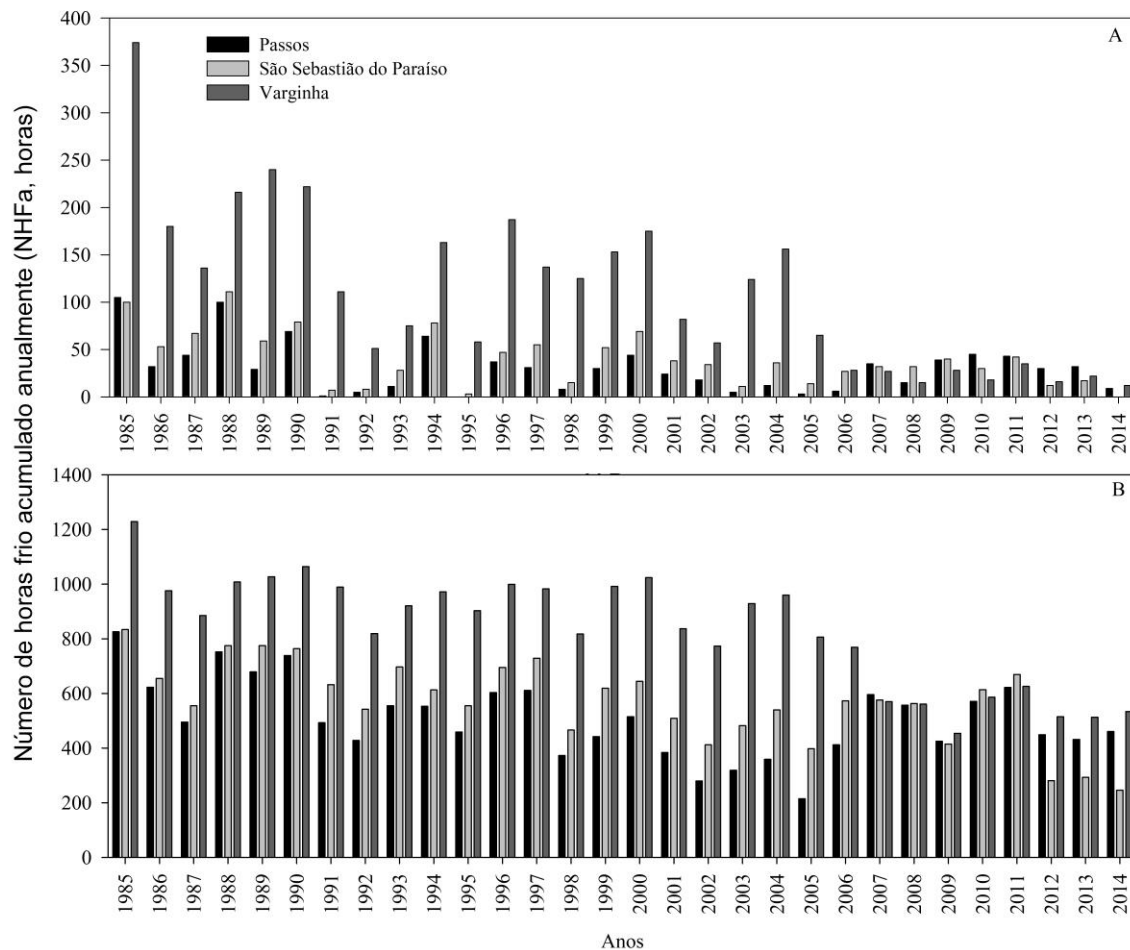


Figura 1: Variabilidade anual do número de horas de frio para  $T_b=7^{\circ}\text{C}$  (painel A) e  $T_b=13^{\circ}\text{C}$  (painel B) para a cidade de Passos, São Sebastião do Paraíso e Varginha (1985 – 2014).

A climatologia de NHF considerando a  $T_b$  de  $7^{\circ}\text{C}$  é de 31 horas para Passos, 40 horas para São Sebastião do Paraíso e 110 horas para Varginha. Já para a  $T_b$  de  $13^{\circ}\text{C}$ , a climatologia do NHF é de 508 horas para Passos, 571 horas para São Sebastião do Paraíso e 835 horas para Varginha (Tabela 1). Sendo assim, apenas as FCT como o pêssego, figo, caqui, oliveira, marmelo e uva (cultivares Bordô, Concord e Isabel) são indicadas para serem cultivadas em Varginha. Nas demais cidades, somente as FCT com cultivares menos exigentes em frio, como o caqui e figo podem ser cultivadas. Isso ocorre devido

aos acúmulos suficientes de NHF somente para a  $T_b=13^\circ\text{C}$ , que se refere ao limiar de menor exigência em frio, e que exigem entre ~50 a 450 horas de frio (SANTOS, 2018; PATHAK et al., 2018). Já FCT mais exigentes em frio como: ameixa, maçã, cereja doce, pera e noqueira pecã não podem ser cultivadas em nenhuma das três cidades devido as condições de NHF não serem satisfeita, tanto para  $7^\circ\text{C}$  quanto para  $13^\circ\text{C}$  ( $\text{NHF} > 1200$  horas) (BOTELHO et al., 2006; SANTOS, 2018).

Tabela 1: Acúmulo anual e climatologia do número de horas frio para temperatura base de  $7^\circ\text{C}$  e  $13^\circ\text{C}$  para as cidades de Passos, São Sebastião do Paraíso e Varginha, localizadas no sudoeste de Minas Gerais durante o período de 1985 a 2014.

Ano	NHFa para $T_b$ de $7^\circ\text{C}$			NHFa para $T_b$ de $13^\circ\text{C}$		
	Passos	São Sebastião do Paraíso	Varginha	Passos	São Sebastião do Paraíso	Varginha
1985	105	100	374	826	834	1229
1986	32	53	180	623	655	976
1987	44	67	136	495	555	885
1988	100	111	216	752	775	1008
1989	29	59	240	679	775	1027
1990	69	79	222	739	764	1064
1991	1	7	111	493	632	989
1992	5	8	51	428	542	819
1993	11	28	75	555	697	921
1994	64	78	163	553	613	972
1995	0	3	58	459	555	903
1996	37	47	187	603	695	999
1997	31	55	137	611	729	983
1998	8	15	125	373	466	818
1999	30	52	153	442	619	992
2000	44	69	175	515	644	1024
2001	24	38	82	384	509	837
2002	18	34	57	280	412	773
2003	5	11	124	319	482	929
2004	12	36	156	359	540	960
2005	3	14	65	215	398	806
2006	6	27	28	412	573	769
2007	35	32	27	596	576	570
2008	15	32	15	557	563	561
2009	39	40	28	425	415	454
2010	45	30	18	571	614	586
2011	43	42	35	622	669	626
2012	30	12	16	449	281	515
2013	32	17	22	432	293	513
2014	9	0	12	461	246	534
<b>Média</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>110</b>	<b>508</b>	<b>571</b>	<b>835</b>

Quantificar o NHF e a identificar as regiões com maior potencial ao cultivo de FCT possibilitam identificação de novas áreas, o aperfeiçoamento de pesquisas referentes aos zoneamentos agroclimáticos de diversas espécies de FCT, e o melhor aproveitamento das áreas favoráveis ao cultivo dessas FCT (MATZENAUER et al., 2007; SANTOS et al., 2017).

É importante salientar que as projeções de aumentos de temperatura projetados para ocorrerem no estado de Minas Gerais podem reduzir o acúmulo de NHF (MARTINS et al., 2020), o que já vem sendo observado ao longo dos anos estudados (1985 – 2014). Ou seja, com o aumento da temperatura do ar o número de horas frio abaixo das  $T_b$ 's ( $7^{\circ}\text{C}$  e  $13^{\circ}\text{C}$ ) fica menor e, conseqüentemente o cultivo das FCT poderá ser afetado. Outros autores também observaram essa diminuição do acúmulo de frio ao longo dos anos na Califórnia (BALDOCHI e WONG, 2008), na Península Arábica (LUEDELING et al., 2008) e no Rio Grande do Sul – Brasil (ROCHA JÚNIOR et al., 2020).

## CONCLUSÕES

A climatologia do NHF para a  $T_b = 7^{\circ}\text{C}$  foi de 31 horas para Passos, 40 horas para São Sebastião do Paraíso e 110 horas para Varginha. Para a  $T_b = 13^{\circ}\text{C}$  foi de 508 horas para Passos, 571 horas para São Sebastião do Paraíso e 835 horas para Varginha. As frutíferas de clima temperado que podem ser cultivadas na região são restritas aquelas de menor exigência em frio, como o figo, pêssigo, oliveira, caqui, marmelo e uva (cultivares Bordô, Concord e Isabel).

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), referente ao Projeto APQ 01258-17, pelo apoio financeiro. E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, processo número 88887.613734/2021-00). Os autores também agradecem ao Dr. Alexandre Cândido Xavier por disponibilizar os dados especializados observados no território brasileiro.

Realização

Apoio

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. A.; ABRAHÃO, E.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J. Levantamento climático das quantidades de unidades de frio na região de Lavras MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1344-1347, 2002.

BALDOCCHI, D.; WONG, S. Accumulated winter chill is decreasing in the fruit growing regions of California. **Climatic Change**, v.87, p.53-166, 2008.

BOTELHO, R. V.; AYUB, R. A.; MULLER, M. M. L. Somatória de horas de frio e de unidades de frio em diferentes regiões do Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v.7, p.89-96, 2006.

BURIOL, G. A.; ESTENFANEL, V.; HELDWEIN, A. B.; PRESTES, S. D.; OLIVEIRA, H. T. de; DIDONÉ, M. A. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2 – Distribuição Geográfica. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 755-759, 2000.

EGEA, J.; ORTEGA, E.; MARTINEZ-GOMEZ, P.; DICENTA, F. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. **Environmental and Experimental Botany**, v.50, p.79-85, 2003.

FADÓN, E.; HERRERA, S.; GUERRERO, B. I.; GUERRA, M. E.; RODRIGO, J. Chilling and Heat Requirements of Temperate Stone Fruit Trees (*Prunus* sp.). **Agronomy**, v.10, n.3, p.1-32, 2020.

FRAGA, H.; PINTO, J. G.; SANTOS, J. A. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: a multi-model assessment. **Climatic Change**, v.152, n.1, p.179–193, 2019.

GARCIA, S. R.; SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Aspectos climatológicos associados ao cultivo da oliveira (*Olea europaea* L.) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 188-209, 2018.

HELDWEIN, A. B.; ANGELOCCI, L. R.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria, RS. **Revista Centro de Ciências Rurais**, v. 19, p. 45-92, 1989.

HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; PRESTES, S. D. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 1– Ocorrência de valores acumulados para diferentes níveis de probabilidade. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 747-754, 2000.

LUEDELING, E.; ZHANG, M.; LUEDELING, V.; GIRVETZ, E. H. Sensitivity of winter chill models for fruit and nut trees to climatic changes expected in California's Central Valley. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.133, p.23-31, 2009.

LUEDELING, E.; GEBAUER, J.; BUERKERT, A. Climate change effects on winter chill for tree crops with chilling requirements on the Arabian Peninsula. **Climatic Change**, v.96, p.219–237, 2008.

Realização

Apoio





MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos; REBOITA, M. S. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITE PARA MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, p.129-156, 2018.

MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. F. Climate projections of chill hours and implications for olive cultivation in Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. e01852, 2020.

MATZENAUER, R. BUENO, A. C.; MALUF, J. R. T.; WREGE, M. S.; VIANA, D. R.; MÁRCIA DOS SANTOS, M. dos; 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.

MONTEIRO, A. F. M.; MARTINS, F. B.; RODRIGUES, R. T.; MARRAFON, V. H. A.; ABREU, M. C.; MATTOS, E. V. Intercomparison and uncertainty assessment of methods for estimating evapotranspiration using a high-resolution gridded weather dataset over Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.46, p.583–597, 2021.

PATHAK, T., MASKEY, M., DAHLBERG, J., KEARNS, F., BALI, K., ZACCARIA, D. Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. **Agronomy**, v.8, n.25, p.1-27, 2018.

PEDRO JR., M. J.; ORTOLANI, A. A.; RIGITANO O.; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Estimativa de Horas de Frio abaixo de 7°C e de 13°C para regionalização da fruticultura de clima temperado no estado do São Paulo. **Bragantia**, v. 38, n. 13, p. 123-130, 1979.

POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de "horas de frio" para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, p. 105-116, 1993.

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, p. 331–332, 1974.

ROCHA JÚNIOR, R. L. da; SILVA, F. D. S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; ROMÃO, W. M. O. Análise de tendência das componentes do saldo de radiação e número de horas de frio em Cruz Alta-RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.01, p.256-270, 2020.

SANTOS, D. F. dos; LEITE, R. R. M.; MARTINS, F. B. Avaliação dos métodos de estimativa de número de horas frio para o sul e sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 401-416, 2017.

SANTOS, D. F. dos. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática das principais frutíferas de clima temperado nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p.2644-2659, 2016.

Realização

Apoio