

ISSN 0104-1347

# Probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) em Santa Catarina

## Probability of occurring total annual chilling hours ( $CH \leq 7.2^{\circ}\text{C}$ ) in Santa Catarina State, Brazil

Angelo Mendes Massignam<sup>1</sup>, Cristina Pandolfo<sup>2</sup>, Luiz Albano Hammes<sup>3</sup>,  
Emanuela Salum Pereira<sup>4</sup>

**Resumo:** O total anual de horas de frio ( $HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$ ) em Santa Catarina é um dos fatores determinantes das cultivares e das áreas recomendadas para as fruteiras de clima temperado. O objetivo do presente trabalho foi estudar a probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio no Estado de Santa Catarina. Foram utilizados dados de totais mensais de horas de frio e de média das temperaturas mínimas do ar mensal de dezessete locais do Estado. A distribuição da probabilidade do total anual de horas de frio foi calculada usando a distribuição normal. Os valores da média e desvio padrão do total anual de horas de frio foram estimados em função da altitude, latitude e longitude. O total anual aderiu à distribuição normal para todas as estações estudadas. Os parâmetros da distribuição normal do total anual de horas de frio podem ser estimados em função da altitude no Estado de Santa Catarina.

**Palavras-chave:** exigências de frio, fruteiras de clima temperado, probabilidades, temperatura mínima do ar

**Abstract:** The total annual chilling hours ( $CH \leq 7.2^{\circ}\text{C}$ ) is one of the main factors that determine cultivars and growing areas of temperate fruit trees. The objective of this paper was to determine the probability of occurring chilling hours in Santa Catarina State, South in Brazil. Monthly values of chilling hour and mean minimum temperatures were obtained from seventeen places in the State. The probability of total annual chilling hours followed the normal distribution. The parameters of the normal distribution, i.e., mean and standard deviation of annual chilling hours for any particular area in SC, can be estimated using the information of altitude of this area.

**Key-words:** chilling requirements, temperate climate fruit plants, probabilities, minimum air temperature

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agrometeorologia, Ph D em Fisiologia Vegetal da Produção. EPAGRI, EECN. CP.116, Fone/Fax (049) 541-0748. 89.620-000 — Campos Novos — SC. Email: massigna@epagri.rct-sc.br

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, Mestre em Fitotecnia - A.C. Agrometeorologia, AGROCONSULT, Fone (048) 239-8005. 88.034-901 — Florianópolis — SC. Email: cristina@epagri.rct-sc.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, AGROCONSULT, Fone (048) 239-8005. 88.034-901 — Florianópolis — SC. Email: hammes@epagri.rct-sc.br

<sup>4</sup> Analista de Sistemas, AGROCONSULT, Fone (048) 239-8005. 88.034-901 — Florianópolis — SC. Email: manu@epagri.rct-sc.br

## Introdução

As fruteiras de clima temperado (macieira, pessegueiro, ameixeira e quivi) caracterizam-se pela queda das folhas no final do ciclo vegetativo e dormência. As diversas fases de dormência nas fruteiras de clima temperado podem ser superadas quando o total acumulado de horas de frio atinge um certo valor que depende da espécie e da cultivar (PETRI et al., 1996). Quando esta exigência de frio não é satisfeita, muitas gemas vegetativas e floríferas permanecem dormentes, mesmo que as condições ambientais sejam favoráveis ao crescimento (PETRI, 1986). Além disto, o requerimento de frio é um fator limitante para a produção comercial de fruteiras de clima temperado em regiões de inverno ameno. LIMA et al. (2003), verificaram a relação entre as unidades de frio e o rendimento das safras de maçã de 1997 a 2002 em Fraiburgo - SC, concluindo que as unidades de frio acumuladas até o final de setembro, calculadas com o método Carolina do Norte modificado (EBERT et al., 1986) influenciaram significativamente a variação dos rendimentos da cultura da macieira.

Para mensurar a quantidade de frio necessária para superar a dormência, o método mais utilizado é o somatório diário das horas com temperatura abaixo de  $7,2^{\circ}C$  durante o período de outono e inverno. Este método tornou-se o mais utilizado e difundido pela simplicidade de cálculo (SILVA et al., 2002). Entretanto, a temperatura efetiva para acumular frio varia em relação às cultivares, podendo chegar até  $15^{\circ}C$  para cultivares de pêsego de menor exigência em frio (PUTTI et al., 2003). EREZ & LAVEE (1971) ressaltam a importância do cálculo de horas de frio ponderadas, considerando a eficiência relativa de cada temperatura.

Os estudos de probabilidade de horas de frio são importantes para a definição da espécie e da cultivar de fruteiras de clima temperado, pois permitem estabelecer que a brotação coincida com período de menor probabilidade de ocorrência de temperaturas prejudiciais à cultura. Além disto, estes estudos são importantes para o planejamento da quebra de dormência artificial das fruteiras. O objetivo deste trabalho foi determinar a probabilidade da ocorrência do total anual de horas de frio para a elaboração do zoneamento agrícola

das fruteiras de clima temperado, considerando os riscos climáticos ou a variabilidade climática no Estado de Santa Catarina. Os objetivos específicos foram: i. determinar equações que estimem as horas de frio mensal em função da temperatura mínima para correção das séries históricas, ii. avaliar e aplicar o modelo "distribuição normal" para cálculo das probabilidades de ocorrência do total anual de horas de frio, e iii. determinar equações que estimem a média e o desvio do total anual de horas de frio para o Estado de Santa Catarina (parâmetros da distribuição normal), em função das coordenadas geográficas: latitude, longitude e altitude.

## Material e Métodos

Foram utilizados dados de totais mensais de horas de frio de abril a outubro e as respectivas médias mensais das temperaturas mínimas do ar de dezessete locais do Estado de Santa Catarina, provenientes de séries históricas de períodos não uniformes, com no mínimo nove anos de registros (Tabela 1). O total diário de horas de frio foi obtido através da cotação horária de registros dos termógrafos.

Devido às falhas na série histórica do total mensal de horas de frio foi utilizada a equação de regressão segmentada em função da temperatura mínima mensal para fazer a correção desta série:

$$\begin{cases} HFm = 0 & \text{se } T_{\min} \geq \left(-\frac{a}{b}\right) \\ HFm = a + b \times T_{\min} & \text{se } T_{\min} < \left(-\frac{a}{b}\right) \end{cases} \quad (1)$$

onde:  $HFm$  é o total de horas de frio mensal,  $T_{\min}$  temperatura mínima mensal,  $a$  e  $b$  são os parâmetros do modelo.

Ao ajustar uma distribuição de probabilidade a um conjunto de dados, assume-se a hipótese de que a distribuição pode representar adequadamente o conjunto de informações. Foi usado o teste  $\chi^2$  para verificar a aderência da distribuição dos totais anuais de horas de frio com a distribuição normal.

A deficiência de estações meteorológicas com séries longas e, também, a falta de estações levaram

**Tabela 1.** Local, coordenadas geográficas das estações meteorológicas, período e número de anos utilizados e fonte das séries históricas.

Local	Altitude	Lat	Long	Período	Número de anos	Fonte
Araranguá	13	-28°55'	-49°29'	1930 - 2002	39	Epagri /INMET
Caçador	960	-26°46'	-51°01'	1961 - 2004	44	Epagri
Campo Erê	900	-26°26'	-53°04'	1987 - 2004	9	Epagri
Campos Novos	947	-27°24'	-51°12'	1931 - 2004	56	Epagri /INMET
Chapecó	679	-27°07'	-52°37'	1974 - 2004	31	Epagri /INMET
Curitibanos	1040	-27°17'	-50°34'	1915 - 2002	41	Epagri /INMET
Itajaí	5	-26°54'	-48°39'	1981 - 2004	23	Epagri
Itapiranga	200	-27°11'	-53°39'	1987 - 2004	15	Epagri
Ituporanga	475	-27°22'	-49°35'	1986 - 2004	19	Epagri
Lages	937	-27°49'	-50°20'	1928 - 2004	56	Epagri /INMET
Lebon Regis	1040	-26°59'	-50°52'	1991 - 2004	13	Ass. de fruticultores
Major Vieira	765	-26°21'	-50°20'	1988 - 2004	16	Epagri
Ponte Serrada	1100	-26°52'	-52°01'	1987 - 2004	18	Epagri
São Joaquim	1415	-28°18'	-49°56'	1955 - 2004	50	Epagri /INMET
São Miguel D'Oeste	700	-26°47'	-53°30'	1988 - 2004	17	Epagri
Urussanga	48	-28°31'	-49°19'	1924 - 2004	25	Epagri
Videira	779	-27°00'	-51°09'	1971 - 2004	34	Epagri
Xanxerê	841	-26°51'	-52°24'	1983 - 1999	15	Epagri /INMET

vários autores a desenvolverem equações para a estimativa de algumas variáveis meteorológicas em função da latitude, da longitude e da altitude em alguns Estados brasileiros (FERREIRA et al., 1971; PINTO et al., 1972; PINTO & ALFONSI, 1974 e LUIZ & SILVA, 1995) e em Santa Catarina (FERREIRA et al., 1974; BRAGA et al., 1987; MASSIGNAM & DITTRICH, 1998 e MASSIGNAM & PANDOLFO, 2006a). Para determinar o conjunto das variáveis independentes (altitude, latitude e longitude) que melhor explicam as variáveis dependentes (total médio de horas de frio anuais e desvio padrão do total de horas de frio anuais) foi aplicado o método de regressão passo a passo com probabilidade de erro a igual a 0,05 para a variável entrar ou sair do modelo, segundo a expressão geral:

$$HF = a + b \times alt + c \times lon + d \times lat \quad (2)$$

$$DHF = a + b \times alt + c \times lon + d \times lat \quad (3)$$

onde: HF é o total médio de horas de frio anuais, DHF é o desvio padrão do total de horas de frio anuais, *alt* é a altitude em metros, *lon* é a longitude em graus e décimos positivos, *lat* é a latitude em graus e décimos positivos e *a*, *b*, *c* e *d* são os parâmetros do modelo.

Foi estudado também o modelo exponencial para o ajustamento da média e do desvio padrão do total médio de horas de frio anuais em função da altitude:

$$HF = a * e^{b * alt} \quad (4)$$

$$DHF = a * e^{b * alt} \quad (5)$$

sendo *a* e *b* os parâmetros do modelo e “e” o número neperiano.

## Resultados e Discussão

Um exemplo de ajuste entre o total de horas de frio mensal e temperatura mínima mensal para a estação meteorológica de São Joaquim é apresentado na Figura 1. O modelo da estimativa do total de horas de frio mensal em função da temperatura mínima mensal para cada estação apresentou um bom ajuste ( $r^2$  entre 0,65 – 0,95), exceto para a estação meteorológica de Urussanga (Tabela 2). Houve uma tendência dos baixos coeficientes de determinação serem referentes a estações meteorológicas de cotas altimétricas baixas. Portanto, a temperatura mínima mensal foi utilizada para a correção da série histórica do total de horas de frio mensal.

O teste  $\chi^2$  mostrou que o total anual de horas de frio aderiu à distribuição normal para todas as estações estudadas. A Figura 2 apresenta um exemplo deste ajuste entre a distribuição de frequência observada e a estimada pela distribuição normal para a estação meteorológica de São Joaquim.

A Tabela 3 apresenta os valores determinados dos parâmetros média e desvio padrão do total anual de horas de frio, probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio maiores ou igual a 80%, 60%, 40% e 20% e probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio superiores a 200, 400, 600 e 800 horas para as estações meteorológicas de Santa Catarina. Com estes parâmetros, é possível a determinação de outras

probabilidades de ocorrência do total anual de horas de frio abaixo ou a acima de qualquer valor. Os resultados permitem concluir que no Estado de Santa Catarina existem regiões diferenciadas quanto à probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio. As maiores probabilidades de ocorrência do total anual de horas de frio foram obtidas no Planalto Serrano (São Joaquim) e os menores valores nas estações meteorológicas do Litoral e Extremo Oeste Catarinense.

As equações de regressão para estimativa da média (HF) e desvio padrão (DHF) do total anual de horas de frio anual são apresentadas abaixo:

Regressão linear múltipla:

$$HF = -4012,39 + 0,579 \times alt - 147,781 \times lat \quad (6)$$

$$r^2 = 0,76$$

$$DHF = 76,68 + 0,108 \times alt \quad (7)$$

$$r^2 = 0,59$$

Modelo exponencial:

$$HF = 118,57 e^{0,0016 * alt} \quad (8)$$

$$r^2 = 0,75$$

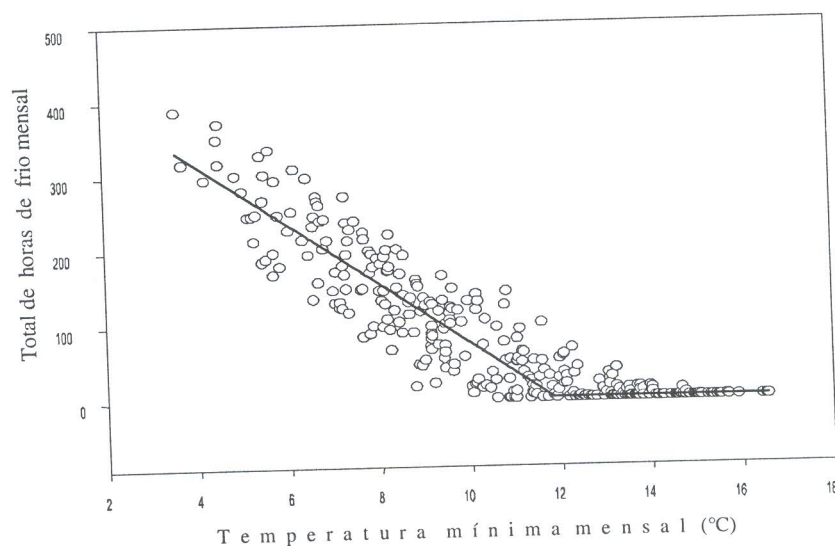
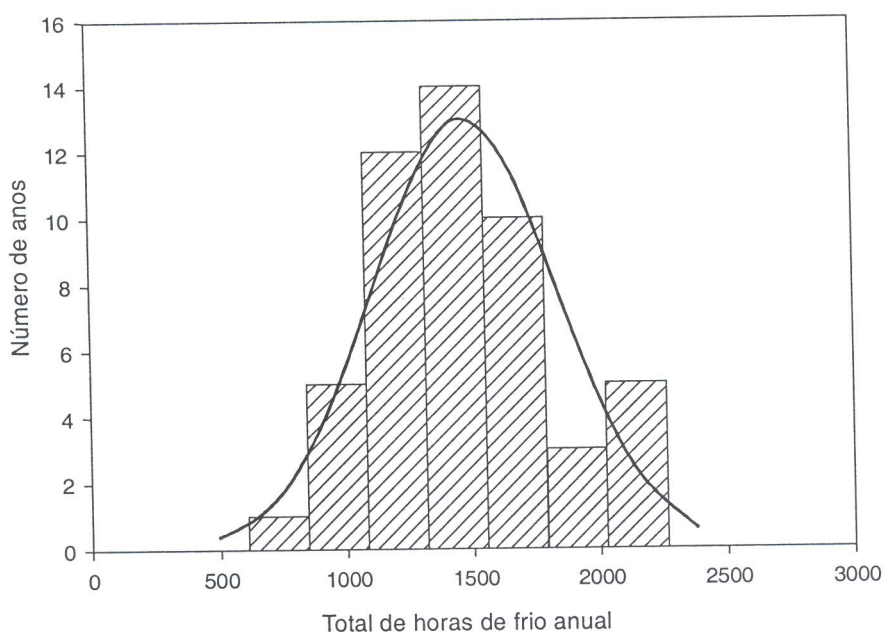


Figura 1. Total de horas de frio mensal em função da temperatura mínima mensal para a estação meteorológica de São Joaquim.

**Tabela 2.** Parâmetros a e b e coeficiente de determinação da equação da regressão segmentada para a correção da série histórica do total de horas de frio mensal em função da temperatura mínima mensal.

Estação meteorológica	a	b	r <sup>2</sup>
Araranguá	226,56	-23,14	0,95
Caçador	289,02	-22,20	0,80
Campo Erê	368,31	-29,26	0,90
Campos Novos	348,18	-27,48	0,76
Chapecó	340,71	-23,25	0,71
Curitibanos	362,96	-27,45	0,86
Itajaí	241,50	-18,07	0,65
Itapiranga	368,51	-29,01	0,82
Ituporanga	315,87	-23,81	0,81
Lages	363,91	-29,92	0,89
Lebon Regis	438,11	-34,06	0,84
Major Vieira	306,65	-23,32	0,84
Ponte Serrada	408,22	-33,19	0,78
São Joaquim	478,64	-40,42	0,86
São Miguel D'Oeste	219,00	-16,00	0,78
Urussanga	183,55	-12,34	0,22
Videira	318,30	-22,83	0,84
Xanxerê	338,98	-25,67	0,77



**Figura 2.** Histograma de frequência e distribuição normal do total anual de horas de frio para a estação meteorológica de São Joaquim - SC.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão do total anual de horas de frio, probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio maiores ou igual a 80%, 60%, 40% e 20% e probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio superiores a 200, 400, 600 e 800 horas para as estações meteorológicas de Santa Catarina.

Estações Meteorológicas	Média	Desvio padrão	Total anual de horas de frio				Probabilidade (%)			
			80%	60%	40%	20%	200	400	600	800
Araranguá	59,1	74,3	0	40	78	122	3	0	0	0
Caçador	599,1	152,4	471	561	638	727	100	90	50	9
Campo Erê	320,9	178,0	171	276	366	471	75	33	6	0
Campos Novos	550,0	165,7	411	508	592	689	98	82	38	7
Chapecó	367,8	116,4	270	338	397	466	93	39	2	0
Curitibanos	756,4	255,0	542	692	821	971	99	92	73	43
Itajaí	81,9	75,6	18	63	101	146	6	0	0	0
Itapiranga	276,7	146,8	153	240	314	400	70	20	1	0
Ituporanga	284,0	122,5	181	253	315	387	75	17	0	0
Lages	612,9	193,7	450	564	662	776	98	86	53	17
Lebon Regis	423,8	124,9	319	392	455	529	96	58	8	0
Major Vieira	390,6	148,4	266	353	428	516	90	47	8	0
Ponte Serrada	457,0	175,6	309	413	501	605	93	63	21	3
São Joaquim	1154,6	301,7	901	1078	1231	1408	100	99	97	88
São Miguel D'Oeste	190,7	126,1	85	159	223	297	47	5	0	0
Urussanga	292,7	103,0	206	267	319	379	82	15	0	0
Videira	613,4	177,9	464	568	658	763	99	88	53	15
Xanxerê	291,8	126,4	185	260	324	398	77	20	1	0

$$DHF = 78,74e^{8,6(10^{-4}) \cdot alt} \quad (9)$$

$$r^2 = 0,67$$

Os valores médios de horas de frio nas estações estudadas de Santa Catarina apresentaram grandes variações (59,1 a 1154,6) (Tabela 3), devidas principalmente a variações da altitude (coeficientes de determinação parciais da regressão linear múltipla = 0,59) seguido da latitude (coeficientes de determinação parciais da regressão linear múltipla = 0,17). Estas variações do total anual das horas de frio não sofreram influência da longitude, o que está de acordo com outros estudos agroclimáticos desenvolvidos no Estado de Santa Catarina. Por exemplo, as variações do número médio mensal e a da probabilidade mensal de ocorrência de geada (MASSIGNAM & DITTRICH, 1998), das médias

das temperaturas máximas, das médias e das mínimas do ar (MASSIGNAM & PANDOLFO, 2006a) e da evapotranspiração de referência (MASSIGNAM & PANDOLFO, 2006b) foram devidas principalmente às variações da altitude. O modelo de regressão linear múltipla (Eq. 6) e o modelo exponencial (Eq. 8) apresentaram coeficientes de regressão similares. Entretanto, analisando os resíduos das Equações 6 e 8 em relação à altitude e o coeficiente de inclinação da regressão linear entre o observado e estimado pelos modelos, o modelo exponencial apresentou um melhor desempenho.

Os valores dos desvios padrões das horas de frio variaram de 74,3 a 301,7 (Tabela 3) e houve uma significativa tendência de aumentar o desvio padrão com o aumento da altitude. Os coeficientes de determinação da regressão linear e não linear do

desvio padrão com a altitude foram médios (0,59 e 0,67, respectivamente) o que contrasta com outros estudos. ESTAFANEL et al. (1978) e MASSIGNAM et al. (2006) concluíram que latitude, longitude e altitude tiveram pouca influencia no desvio padrão das temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais no Rio Grande do Sul e para a média das temperaturas máximas decendiais para o Estado de Santa Catarina, respectivamente.

As estatísticas resultantes das análises dos dados demonstram que as probabilidades de ocorrência do total anual das horas de frio podem ser estimadas através da distribuição normal usando a média e o desvio padrão estimados pela altitude, através do modelo exponencial (equações 8 e 9, respectivamente), devido ao bom ajuste entre a probabilidade observada e a estimada. Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) da regressão entre a probabilidade do total anual de horas de frio observado e o estimado variaram de 0,61 a 0,75, dependendo da probabilidade usada (1 a 99%).

### Conclusões

1. As variações do total anual de horas de frio em Santa Catarina são devidas principalmente das variações da altitude seguido da latitude.

2. A probabilidade de ocorrência do total anual de horas de frio no Estado de Santa Catarina pode ser estimada através da distribuição normal. A média e o desvio padrão do total anual de horas de frio, parâmetros da distribuição normal, podem ser estimados em função da altitude através do modelo exponencial.

### Referências Bibliográficas

BRAGA, H.J., SILVA, L.M. da, KICHEL, N. **Normais de temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas em função das latitudes, longitude e altitude para os 199 municípios catarinenses**. Florianópolis: Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1987. 44p. (EMPASC, Documentos, 86).

EBERT, A. et al. First experiences with chill units models in Southern Brasil. *Acta Horticulturae*, Hague, v. 184, p.89-96, 1986.

EREZ, A.; LAVEE, S. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I – temperature. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 96, n. 6, p. 711-714, 1971.

ESTAFANEL, V. et al. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas absolutas do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 8, n. 4, p. 363-384, 1978.

FERREIRA, M. et al. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 1, n. 4, p. 21-52, 1971.

FERREIRA, M. et al. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 19-38, 1974.

LIMA, M. de et al. Relação entre as unidades de frio e o rendimento das safras de maçã de 1997 a 2002 em Fraiburgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. **Anais ...**, Santa Maria: UFSM, 2003. p. 457. Cd-rom.

LIMA, M. G.; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.2, p. 221-227, 1998.

LUIZ, A. J. B.; SILVA, F.A.M. da Temperaturas decendiais máximas, mínimas e media, como função da latitude e altitude, em Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9. 1995, Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. **Anais...**, Campina Grande, 1995. 500p, p.234-235.

MASSIGNAM, A.M.; DITTRICH, R.C. Estimativa do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 213-220, 1998.

MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C. **Estimativa das médias das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar decendiais e anuais no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006a. 26p. (Epagri, Documentos, 224).

MASSIGNAM, A.M.; PANDOLFO, C. **Estimativa da evapotranspiração de referência mensal e anual no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2006b. 24p. (Epagri, Documentos, 225).

MASSIGNAM, A.M. et al. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas decendiais do ar no Estado de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, p. 109-119, 2005.

PETRI, J.L. et al. **Dormência e indução da brotação de fruteiras de clima temperado**. Florianópolis: Epagri, 1996. 110p. (Boletim Técnico, 75).

PETRI, J.L. Dormência da macieira. In: EMPASC. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, 1986. p. 163-201.

PINTO, H. S.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa da temperaturas médias mensais**

**no Estado de São Paulo, em função de altitude e latitude**. São Paulo, Instituto de Geografia, USP, 1972. 20 p. (Caderno de Ciências da Terra, 23).

PINTO, H.S; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no Estado do Paraná, em função de altitude e latitude**. São Paulo, Instituto de Geografia, USP, 1974. 28 p. (Caderno de Ciências da Terra, 52).

PUTTI, G.L.; PETRI, J.L.; MENDEZ, M.E. Efeito da intensidade do frio no tempo e percentagem de gemas brotadas em macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p.199-202, 2003.

SILVA, J.B. da; HERTER, F. G.; PAZ, S.R. da. Disponibilidade das horas de frio (HFd<sup>7,2°C</sup>) na Encosta da Serra do Sudeste, em Pelotas, RS, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 113-122, 2002.