



BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas

Vol. 38

Campinas, fevereiro de 1979

N.º 4

ESTIMATIVA DO TOTAL DE HORAS ABAIXO DE DETERMINADA TEMPERATURA-BASE ATRAVÉS DAS MEDIDAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA DO AR (1)

LUIZ R. ANGELOCCI (2), MARCELO B. P. DE CAMARGO (2), MÁRIO J. PEDRO JR., ALTINO A. ORTOLANI e R. REMO ALFONSI (2), *Seção de Climatologia Agrícola, Instituto Agrônomo*

SINOPSE

São propostas equações matemáticas para estimar o total diário de horas abaixo de determinada temperatura-base, em certo período, utilizando-se somente dos valores diários das temperaturas máxima, mínima e das 21 horas (hora local). A comparação entre os totais diários e mensais de "horas de frio" estimados pelas equações propostas e os observados através de termogramas, para várias localidades do Estado de São Paulo, mostrou boa concordância entre os métodos de cálculo.

O modelo proposto dispensa o uso de registros contínuos de temperatura. As vantagens de tal estimativa residem na maior disponibilidade de registros de temperaturas máximas, mínimas e das 21 horas, permitindo maior densidade de pontos em trabalhos de zoneamento agroclimático e de cartografia, além da eliminação do processo de cotação de termogramas.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do período em que a temperatura do ar permanece abaixo ou acima de certo valor é de interesse nos estudos sobre vernalização e desvernalização em algumas espécies vegetais. Além disso, algumas espécies agrícolas perenes, como as frutíferas de clima temperado, têm

exigências em baixas temperaturas que lhes condicionam repouso, permitindo florescimento e frutificação normais após o inverno (1, 2, 5, 8). Tal exigência térmica tem sido quantificada pelo número de "horas de frio", definido como o total de horas num período em que a temperatura

(1) Recebido para publicação em 14 de junho de 1978.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

do ar permanece abaixo de determinada temperatura-base. Embora a temperatura-base varie entre espécies e variedades, tem-se tomado valores como 7°C e 13°C em estudos de regionalização e adaptação de variedades de frutíferas de clima temperado em diversas regiões (3, 9, 11).

Para o cálculo das "horas de frio", faz-se necessário o uso de termogramas. Assim, em estudos sobre regionalização da fruticultura de clima temperado envolvendo áreas relativamente grandes, é ideal a existência de uma rede ampla e bem distribuída de postos meteorológicos equipados com termógrafos. Tem-se tentado substituir a cotação dos termogramas por equações de regressão: MARKUS (6), por exemplo, encontrou uma correlação significativa entre temperatura mínima e duração do período de frio para Porto Alegre (RS), enquanto MOTA (7) obteve equações de regressão para estimativa do número de "horas de frio" em função da temperatura média mensal para Pelotas (RS). Procedimento idêntico foi usado por PASCALE & ASPIAZÚ (9), para Buenos Aires. DAMARIO (3) apresentou um mapeamento de "horas de frio" para a Argentina, baseado em um método gráfico proposto pelo autor, com utilização das médias de temperaturas mínimas anuais e dos cinco meses mais frios do ano. FERREIRA (4) utilizou a equação de regressão proposta por MOTA (7) em estudo sobre regionalização da fruticultura de clima temperado no Estado de Minas Gerais. PEDRO JR. et alii (10) determinaram equações de regressão para estimativa do número de horas com temperatura abaixo de 7°C e 13°C para o Estado de São Paulo, em função da temperatura média do mês

de julho, utilizando dados termográficos de doze localidades.

Embora esses procedimentos vissem minimizar o problema da falta de registros termométricos contínuos, observa-se que somente é possível o estabelecimento de equações de regressão a partir do uso dos próprios registros, de modo que o problema é superado apenas em parte. Com base nesse fato, o presente estudo tem por objetivo o desenvolvimento de equações que permitam a estimativa do total de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de certo valor base, fazendo uso de dados diários de temperatura, obtidos através de termômetros colocados em abrigo meteorológico padrão, em substituição ao uso de termógrafos.

2. METODOLOGIA

Num levantamento dos dados termográficos de várias localidades do Estado de São Paulo, verificou-se que acima de 90% dos dias do ano apresentam um padrão de variação de temperatura do ar bastante próximo daquele mostrado em linha pontilhada na figura 1, no período compreendido entre as ocorrências das temperaturas máximas em dias consecutivos; essa curva diária de temperatura do ar pode ser aproximada por uma série de segmentos de reta, de acordo com o mostrado em linha cheia na figura 1.

Adotando tal aproximação como válida, os seguintes casos podem ocorrer, considerando-se T_B como a temperatura-base, T_{21} a temperatura das 21 horas, T_{M1} e T_{M2} as temperaturas máximas e T_m a temperatura mínima do período:

1.º CASO (figura 1):

Condições: $T_B > T_m$; $T_B \leq T_{21}$;
 $T_B < T_{M1}$; $T_B < T_{M2}$;

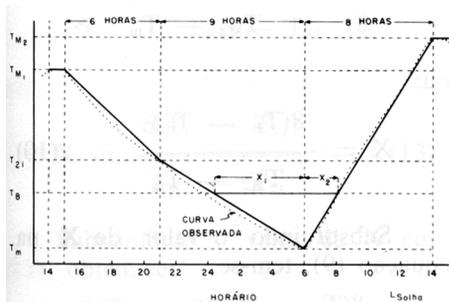


Figura 1. - Representação gráfica das condições do 1.º caso.

O número de horas abaixo da temperatura-base, representado por H, será:

$$H = X_1 + X_2 \dots\dots\dots(1)$$

Por semelhança de triângulos, obtém-se:

$$\frac{X_1}{9} = \frac{T_B - T_m}{T_{21} - T_m}$$

ou:

$$X_1 = \frac{9(T_B - T_m)}{T_{21} - T_m} \dots\dots(2)$$

e:

$$\frac{X_2}{8} = \frac{T_B - T_m}{T_{M2} - T_m}$$

ou:

$$X_2 = \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} \dots\dots(3)$$

Substituindo as equações (2) e (3) em (1), tem-se:

$$H = \frac{9(T_B - T_m)}{T_{21} - T_m} + \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} \dots\dots\dots(4)$$

2.º CASO (figura 2):

Condições: $T_B > T_m$; $T_B \geq T_{21}$;
 $T_B < T_{M1}$; $T_{M1} < T_{M2}$

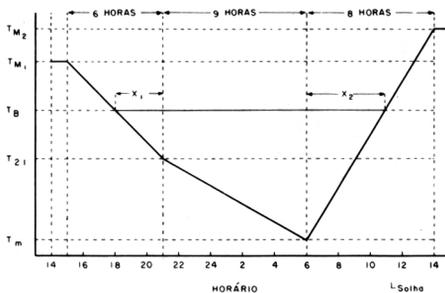


Figura 2. - Representação gráfica das condições do 2.º caso.

O número de horas abaixo da temperatura-base será:

$$H = X_1 + X_2 + 9 \dots\dots(5)$$

Por semelhança de triângulos, obtém-se:

$$\frac{X_1}{6} = \frac{T_B - T_{21}}{T_{M1} - T_{21}}$$

ou:

$$X_1 = \frac{6(T_B - T_{21})}{T_{M1} - T_{21}} \dots\dots(6)$$

e:

$$\frac{X_2}{8} = \frac{(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m}$$

ou:

$$X_2 = \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} \dots\dots(7)$$

Substituindo as equações (6) e (7) em (5), tem-se:

$$H = \frac{6(T_B - T_{21})}{T_{M1} - T_{21}} + \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} + 9 \dots\dots(8)$$

3.º CASO (figura 3):

Condições:

$$T_B > T_m; T_B \geq T_{M1}; T_B \leq T_{M2}$$

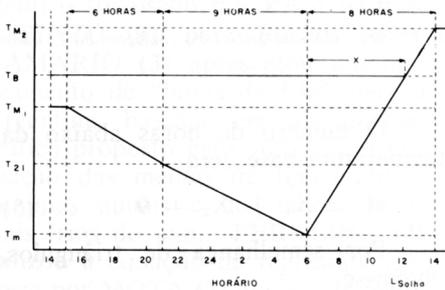


Figura 3. - Representação gráfica das condições do 3.º caso.

O valor de H será:

$$H = X + 16 \dots\dots\dots(9)$$

Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{X}{8} = \frac{T_B - T_m}{T_{M2} - T_m}$$

ou:

$$X = \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} \dots\dots(10)$$

Substituindo o valor de X na equação (9), tem-se:

$$H = \frac{8(T_B - T_m)}{T_{M2} - T_m} + 16 \dots\dots(11)$$

4.º CASO (figura 4):

Condições:

$$T_B > T_m; T_B \geq T_{M2}; T_B \geq T_{21}; T_B < T_{M1}$$

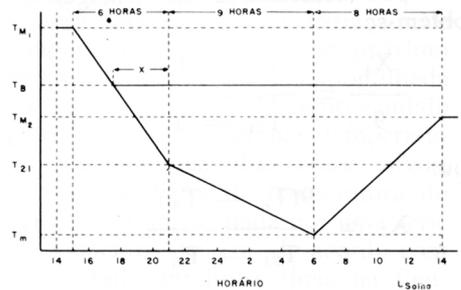


Figura 4. - Representação gráfica das condições do 4.º caso.

Pela figura 4, tem-se:

$$H = X + 17 \dots\dots\dots(12)$$

Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{X}{6} = \frac{T_B - T_{21}}{T_{M1} - T_{21}}$$

ou:

$$X = \frac{6(T_B - T_{21})}{T_{M1} - T_{21}} \dots\dots(13)$$

Substituindo o valor de X em (12), obtém-se:

$$H = \frac{6(T_B - T_{21})}{T_{M1} - T_{21}} + 17 \dots (14)$$

5.º CASO (figura 5):

Condições:

$$T_B > T_m; T_B \leq T_{21}; T_B < T_{M1}; T_B > T_{M2}$$

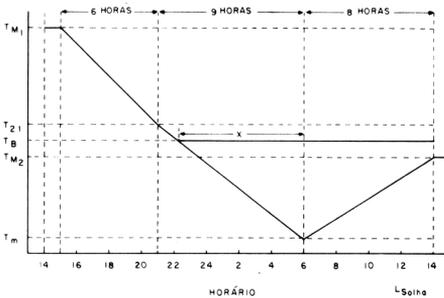


Figura 5. - Representação gráfica das condições do 5.º caso.

O número de horas abaixo da temperatura-base será igual a:

$$H = X + 8 \dots\dots\dots(15)$$

Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{X}{9} = \frac{T_B - T_m}{T_{21} - T_m}$$

ou:

$$X = \frac{9(T_B - T_m)}{T_{21} - T_m} \dots\dots(16)$$

Substituindo o valor de X na equação (15), tem-se:

$$H = \frac{9(T_B - T_m)}{T_{21} - T_m} + 8 \dots (17)$$

6.º CASO:

Condições:

$$T_B \geq T_{M1}; T_B \geq T_{M2}$$

Nesse caso, H = 24 horas.

7.º CASO:

Condição: $T_B \leq T_m$

Nesse caso; H = 0

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os valores estimados através das equações propostas foram comparados com aqueles obtidos de termogramas. Nessa comparação foram utilizados dados de estações meteorológicas.

lógicas situadas em Campinas (latitude 22°54'S, longitude 47°05'W e altitude 669m), Ribeirão Preto (latitude 21°11'S, longitude 47°48'W e altitude 621m), Ataliba Leonel (latitude 23°10'S, longitude 49°20'W e altitude 589m), Pindamonhangaba (latitude 22°55'S, longitude 45°27'W e altitude 560m) e São Roque (latitude 23°32'S, longitude 47°08'W e altitude 850m). Os dados foram escolhidos ao acaso, dentro de uma série de doze anos.

A figura 6 (a e b) mostra a relação entre os valores diários estimados de "horas de frio", tomando-se como exemplo temperaturas-base de 13°C e 7°C, para as cinco localidades estudadas. Observa-se que os pontos mostram uma tendência de seguir a linha 1:1, havendo pequenas

diferenças entre as localidades; os valores de coeficientes de correlação para as temperaturas-base de 13°C e 7°C foram, respectivamente: Campinas, $r = 0,97$ e $r = 0,91$; Ribeirão Preto, $r = 0,96$ e $r = 0,93$; Ataliba Leonel, $r = 0,92$ e $r = 0,96$; São Roque, $r = 0,97$ e $r = 0,88$, e Pindamonhangaba, $r = 0,95$ e $r = 0,92$, indicando que não houve diferença significativa entre os valores estimados e os observados. A figura 6a mostra, também, que para a temperatura-base de 13°C, em geral as equações superestimaram os valores de "horas de frio" de 0 a 12 e subestimaram os valores de 12 a 24, em relação aos valores observados em termogramas; para a temperatura-base de 7°C (figura 6b), a tendência de subestimativa se deu a partir de valores de 8 "horas de frio".

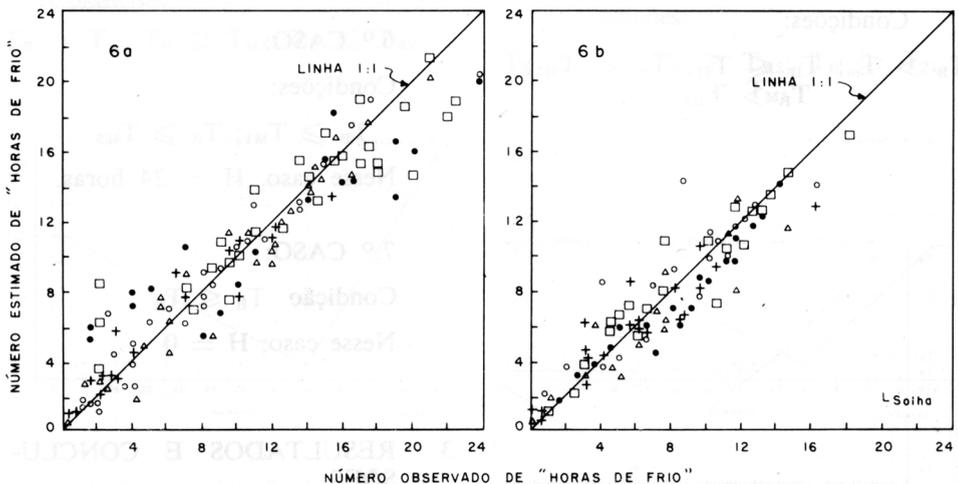


Figura 6. - Correlação entre o número observado e o número estimado de "horas de frio" para Campinas (°), Ribeirão Preto (+), Ataliba Leonel (□), São Roque (.) e Pindamonhangaba (▲). Figura 6a: temperatura-base= 13° C. Figura 6b: temperatura-base= 7° C.

A figura 7 (a e b) mostra a relação entre os dados estimados e os observados, considerando-se cada equação em separado. Para as equações n.º 4 (1.º caso) e n.º 8 (2.º caso) foram utilizadas temperaturas-base de 13°C e 7°C; para as equações n.º 11 (3.º caso), n.º 14 (4.º caso), e n.º 17 (5.º caso), foi usada temperatura-base de 17°C, devido à raridade de ocorrência, nas localidades estudadas, das condições exigidas nesses casos para temperaturas-base menores que a utilizada. Observa-se que a equação 4 responde por todos os casos do número estimado de "horas de frio" na faixa de 0 a 12 e de 0 a 10 para temperaturas-base de 13°C e de 7°C, respectivamente, enquanto as outras equações respondem pelos casos acima dessa faixa. Através dessas figuras, poder-

se-ia concluir que as superestimativas seriam causadas pela equação número 4, enquanto as cinco equações seriam responsáveis pelas subestimativas encontradas na faixa superior de número de "horas de frio". Entretanto, tais conclusões não podem ser confirmadas, porque o procedimento utilizado no cálculo do número observado de "horas de frio" não deve ser tomado como padrão, em consequência da pequena precisão do termógrafo. Pela baixa precisão e pelos problemas mecânicos apresentados, esses equipamentos ocasionam um erro mínimo de 0,5 hora, sendo comuns erros maiores, o que impossibilita concluir ser a dispersão apresentada devida só às equações; com certeza, os dois procedimentos de cálculo contribuem para essa dispersão.

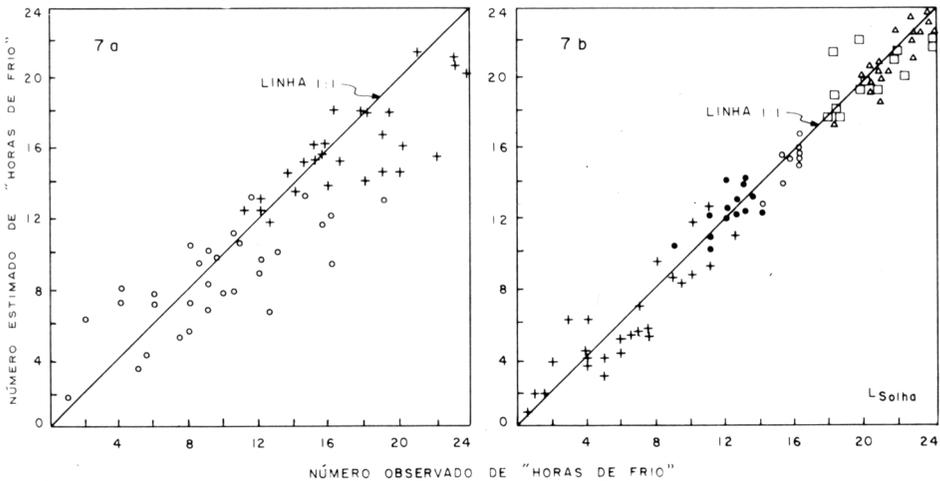


Figura 7. - Correlação entre o número observado e o número estimado de "horas de frio", de acordo com as equações propostas. Figura 7a: equação n.º 4 (°) e equação n.º 8 (+), para $T_B = 13^\circ C$. Figura 7b: equação n.º 4 (+) e equação n.º 8 (°), para $T_B = 7^\circ C$; equação n.º 11 (Δ), equação n.º 14 (\square) e equação n.º 17 (\diamond), para $T_B = 17^\circ C$.

Independente dessas considerações, pode-se concluir que a estimativa do número diário de "horas de frio", através das equações propostas, apresenta precisão aceitável, a qual será maior ainda se a estimativa for feita para períodos mais longos, como pode ser visto na figura 8 (a e b), que mostra a relação entre o número mensal estimado e o número mensal observado de horas abaixo das temperaturas de 13°C e 7°C. Observa-se que os pontos seguem estreitamente a linha 1:1, com coeficientes de correlação iguais a 0,99.

localidades sem registro termométrico contínuo, mas que possuam observações diárias de temperaturas máxima, mínima e das 21 horas locais. Esses dados são mais comuns e de obtenção mais fácil que os termográficos;

b) possibilidade de aumento da densidade de pontos em estudos de regionalização de culturas e em trabalhos cartográficos;

c) dispensa da operosa cotação de termogramas em tais tipos de trabalho, além da facilidade do processamento dos dados em computador,

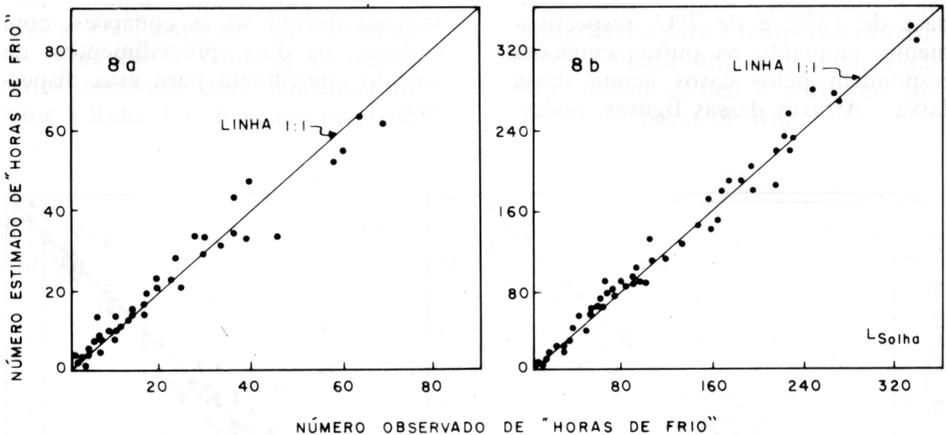


Figura 8. - Correlação entre o número observado e o número estimado de "horas de frio". Figura 8a: número mensal de horas para temperatura-base= 7° C. Figura 8b: número mensal de horas para temperatura-base= 13° C.

Em vista do exposto, pode-se concluir que as equações propostas podem ser usadas na estimativa do número de "horas de frio" e em trabalhos correlatos, nos períodos de interesse.

Uma série de vantagens resulta desse procedimento, podendo-se citar:

a) possibilidade de estimativa do número de horas abaixo ou acima de determinada temperatura, para

através de entrada direta das temperaturas exigidas num programa.

Comparado com as estimativas de "horas de frio" através de análise de regressão, o modelo proposto apresenta-se vantajoso por dispensar os dados termográficos, que são exigidos no estabelecimento das equações de regressão.

As equações foram testadas para algumas localidades do Estado

de São Paulo, mas pode-se esperar que o modelo seja aplicável a outras localidades paulistas, pelo fato de se basear no padrão de variação diária de temperatura. Embora haja neces-

sidade de confirmação, o mesmo se pode dizer com relação a outras localidades do país, principalmente aquelas situadas no mesmo fuso horário do Estado de São Paulo.

NUMBER OF HOURS BELOW ANY BASE TEMPERATURE ESTIMATED BY
DAILY MEASUREMENTS OF AIR TEMPERATURE

SUMMARY

Mathematical equations are proposed to estimate the daily number of hours in which the air temperature remains below a determined threshold value. The equations require only daily values of maximum, minimum and 9 p.m. local time temperature, measured inside the meteorological shelter. This technique is suitable for machine computation thus avoiding the tremendous task of quantifying a large number of thermograms. This fact permits the utilization of a greater number of stations in studies of crop zonation and cartography.

Good correlations were obtained between estimated and observed data of the daily and monthly total number of hours below 7°C, 13°C and 17°C, for five stations in the State of São Paulo, Brazil, showing relative accuracy of the proposed equations.

LITERATURA CITADA

1. CHANDLER, W. H.; KIMBALL, M. H.; TUFT, G. L. P. & WELDON, P. Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some plants in California. Berkeley, Calif. Agric. Exp. Sta., 1937. 63p. (Bulletin, 611)
2. COWART, P. P. & SAVAGE, E. F. Important factors affecting peache and tree longevity in Georgia. Proc. Am. Soc. hort. Sci., 39:173, 1941.
3. DAMARIO, E. A. Carta estimada de horas de frio de la Republica Argentina. R. Fac. Agron. Vet. B. Aires, 17(2):25-38, 1969.
4. FERREIRA, A. A. Estudo da viabilidade técnico-econômica da fruticultura de clima temperado no Estado de Minas Gerais. Viçosa, Universidade Federal, 1975. 128p. (Tese de Mestrado)
5. LEDESMA, N. R. Consecuencias del frio invernal insuficiente en los arboles de follaje caduco. R. Fac. Agron. La Plata, 27:181-196, 1950.
6. MARKUS, R. Um estudo estatístico dos invernos de Porto Alegre em relação às exigências de frio das frutíferas de clima temperado. R. Agrônômica, Porto Alegre, 16(187):231-248, 1952.
7. MOTA, F. S. Os invernos de Pelotas (RS) em relação às exigências das árvores frutíferas de folha caduca. Pelotas, Inst. Agron. Sul, 1957. 31p. (Boletim técnico, 18)
8. NIGHTINGALE, G. T. & BLAKE, M. A. Effects of temperature on the growth and composition of Stayman and Baldwin apple trees. New Jersey Agric. Exp. Sta., 1934. (Bulletin, 566)

9. PASCALE, A. J. & ASPIAZÚ, C. Régimen de horas de frio durante el invierno en Buenos Aires. R. Fac. Agron. Vet. Univ. B. Aires, 16(2):63, 1965.
10. 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 e 13°C para regionalização da fruticultura de clima temperado no Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 38:123-130, 1979.
11. WIENBERGER, J. H. Prolonged dormancy trouble in peaches in the southeast in relation to winter temperatures. Proc. Am. Soc. hort. Sci., 67:107, 1956.