

**ESTIMATIVA DA DURAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR ACIMA DE DETERMINADOS
NÍVEIS TÉRMICOS EM SANTA MARIA, RS**

**NUMBER OF DAILY HOURS WITH TEMPERATURE EQUAL OR ABOVE SEVERAL
THERMIC LEVELS IN SANTA MARIA, RS**

Valduino Estefanel¹, Galileo Adeli Buriol¹ e Flavio Miguel Schneider¹.

RESUMO

Utilizando registros de temperatura do ar da estação Climatológica de Santa Maria (RS), foram estudados dois métodos de estimativa do número de horas diárias em que a temperatura do ar permanecia igual ou acima dos seguintes níveis térmicos: 18°C, 20°C, ..., 36°C nos meses de abril a setembro, e 30°C, 32°C, ..., 36°C de outubro a março. A eficiência dos métodos foi comprovada através das médias, equações de regressão, coeficientes de determinação e desvios médios. Concluiu-se que o número de horas diárias com temperatura igual ou acima dos diferentes níveis térmicos pode ser estimado com o uso de equações de regressão polinomial em função das temperaturas máximas e a das 21 horas. Mas o método usando equações analíticas aproximando a variação diária da temperatura a figuras geométricas foi mais eficiente do que o método das regressões polinomiais. São apresentadas tabelas, obtidas com auxílio da distribuição Gama, com o número de horas esperado em que a temperatura do ar alcança ou supera os níveis térmicos estudados.

Palavras-chave: Temperatura máxima do ar, temperaturas prejudiciais, duração.

SUMMARY

Using air temperature data obtained in the climatological station of the Federal University of Santa Maria, two methods to estimate the number of daily hours in which the air temperature was equal to, or

¹ Engº Agrº, Professor Titular do Departamento de Fitotecnia-CCR, Universidade Federal de Santa Maria, 97119-900 SANTA MARIA - RS. Bolsista do CNPq.

above the following thermic levels: 18°C, 20°C, ..., 36°C from the month of April up to September, and 30°C, 32°C, ..., 36°C from October until March were studied. The efficiency of the methods was tested by averages, regression equations, determination coefficients and mean deviations. It was concluded that the number of daily hours with temperature equal to or above the different thermic levels can be estimated using polynomial regression equations related to the maximum temperatures and the temperature at 9:00 p.m. However the method using analytical equations approximating the daily temperature variations to geometrical figures, was more efficient than the polynomial regressions method. Tables obtained by using the Gama distribution showing the number of hours expected when the temperature are equal or superior to the thermic levels studied are also printed.

Key words: maximum temperature, high temperature, number of hours.

INTRODUÇÃO

A temperatura do ar é um dos elementos climáticos mais importantes para a agricultura, e o conhecimento de suas disponibilidades para um determinado local norteia a adoção de diversas técnicas agrônomicas como introdução de cultivares, época de semeadura e/ou colheita, tratos culturais e modificação de ambientes agrícolas. Dentre os diversos parâmetros térmicos a temperatura máxima é pouco estudada, mas afeta as culturas em todas as estações do ano. No inverno sua ação se faz sentir na quebra de dormência das plantas caducifólias quando superior a 18°C (GILMORE & ROGERS, 1958), no verão, quando acima de 30°C, inibe a fotossíntese prejudicando o crescimento das culturas (SIERRA & MURPHY, 1973).

ESTEFANEL et al (1994) estimaram a probabilidade de ocorrência de dias com temperatura acima de 18°C nos meses frios e de 30°C nos meses quentes para Santa Maria, e comentam que, para melhor avaliar o efeito das temperaturas altas, se torna necessário determinar o número de horas em que elas permanecem acima de determinado nível térmico (T_b).

A quantificação da duração da temperatura do ar acima de determinado T_b é dificultada porque poucas estações meteorológicas possuem termógrafos. Mesmo quando existem termogramas, essa tarefa não é fácil e está sujeita a erros de determinação. Essa dificuldade foi sentida inicialmente pelos pesquisadores que desejavam avaliar o número de horas com temperatura abaixo de determinado T_b para os meses de inverno, elemento importante para estudo de zoneamento de frutíferas criófitas.

ANGELOCCI et al (1979) determinaram o número de horas com temperatura abaixo de uma

temperatura base para o Estado de São Paulo, utilizando um modelo analítico com as medidas diárias das temperaturas máxima, mínima e das 21 h, ajustando figuras geométricas ao gráfico da variação típica da temperatura num período de 24 horas. HELDWEIN et al (1989) e ESTEFANEL et al (1991) ajustaram o modelo de ANGELOCCI et al (1979) para o Estado do Rio Grande do Sul, os primeiros para os meses mais frios e os últimos para os meses mais quentes. HELDWEIN et al (1989) testaram também diversos modelos de regressão, mas concluíram que o método analítico foi mais preciso.

POLA e ANGELOCCI (1993) avaliaram o método analítico, dois modelos de regressão, um considerando a temperatura mínima e o outro a razão das amplitudes térmicas (HELDWEIN, 1983) como variável independente, além de um método que aproxima as oscilações diárias da temperatura à uma senóide. Os autores concluíram que somente o método de regressão usando a temperatura mínima como variável independente não estimou adequadamente o número de horas com temperatura abaixo de 7°C e de 13°C nas três localidades do Estado de Santa Catarina estudadas no trabalho.

O objetivo deste trabalho é obter um modelo de estimativa e usá-lo para estimar o número de horas em que a temperatura do ar permanece acima de determinados T_b em Santa Maria, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Nos anos de 1976, 1979, 1980 e 1982 obtiveram-se, com auxílio dos termogramas da Estação Climatológica Principal pertencente ao Serviço Nacional de Meteorologia instalada no campo experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (Latitude: 29°43'S; longitude: 53°42'W e altitude: 95 m), o número diário de horas com temperatura igual ou maior que 18°C nos meses mais frios (abril a setembro) e igual ou superior a 30°C nos meses mais quentes (outubro a março) com intervalo de 2°C. Essas determinações, em número de 2.198, foram consideradas padrão (*HR*) e serviram para avaliar os métodos de estimativa desses valores a serem usados em períodos carentes de termogramas.

O número de horas diárias (*HE*) com temperatura igual ou maior que T_b foi estimado através de equações analíticas e também por regressão. O método das equações analíticas aproxima a curva da variação diária da temperatura a figuras geométricas simples e toma por base os registros das temperaturas mínimas, máximas e das 21 h do dia considerado e a temperatura mínima do dia posterior. Pelo método das regressões procurou-se estimar a duração da temperatura diária em níveis iguais ou superiores a T_b usando equações polinomiais do tipo:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + b_3 X_{i1}^2 + b_4 X_{i2}^2 + b_5 X_{i1} X_{i2} + \dots + e_i$$

onde Y_i é o valor estimado e X_{i1}, X_{i2}, \dots são as temperaturas máxima, mínima e das 21 h do dia i considerado e a mínima do dia posterior.

Como o ciclo diário da variação da temperatura inicia com a temperatura mínima do dia e termina com a temperatura mínima do dia posterior, tanto as determinações a partir dos termogramas como as estimativas tem como referência a hora da ocorrência das mínimas e não a zero hora do dia. Considerou-se que a ocorrência da temperatura mínima foi às 7 h no inverno (HELDWEIN *et al*, 1989) e às 6 h no verão (ESTEFANEL, *et al*, 1991). Foi também considerado, de acordo com os autores acima citados que a temperatura máxima do ar permanece constante no intervalo entre 15 h e 16 h.

A eficiência dos métodos de estimar HR foi estudada comparando os coeficientes de determinação, as médias das estimativas, os desvios médios e tabulando os valores absolutos dos desvios $|HR-HE|$. Os desvios médios foram calculados pela expressão:

$$\bar{D} = (|HR-HE|)/n$$

onde n é o número de dias em que a temperatura alcançou o T_b considerado.

A validação do modelo foi feita calculando, a partir dos termogramas, o número de horas em que a temperatura permaneceu igual ou acima das diversas T_b nos meses de janeiro e julho dos anos de 1985 a 1989, os quais foram comparados com valores equivalentes obtidos pelas equações analíticas e aqueles obtidos com as equações de regressão.

Usando o método que se mostrou mais eficiente foi estimado HE diário para o período 1912/91 e obtiveram-se os totais de HE para cada decêndio de cada ano. O 1º decêndio foi considerado do dia 1º ao dia 10 de cada mês, o 2º decêndio do dia 11 ao dia 20, e o 3º decêndio do dia 21 em diante. Embora a Estação Climatológica tenha sido trocada de lugar durante esse período, uma análise realizada por ESTEFANEL *et al* (1994) mostrou que a série é homogênea para os elementos meteorológicos envolvidos no cálculo.

Verificou-se o ajustamento do total das HE de cada decêndio às distribuições Normal pelo teste de Lilliefors e Gama pelo teste de Kolmogoroff-Smirnoff (CAMPOS, 1983) sendo os parâmetros dessas distribuições estimados com os dados disponíveis. A estimativa dos parâmetros da distribuição Gama e a integração dessa função foram feitas conforme algoritmo apresentado por VIVALDI (1973). Para obter o número mínimo esperado de horas com temperatura $\geq T_b$ utilizou-se o procedimento sugerido por THOM (1958) e utilizado por ESTEFANEL *et al* (1988) para estudar as datas prováveis de ocorrência de temperaturas baixas em Santa Maria, RS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos quatro anos utilizados ocorreu um número de casos suficiente para analisar as estimativas para as T_b com temperaturas de 30°C, 32°C, 34°C, e 36°C nos meses mais quentes e 18°C, 20°C, ... e 32°C nos meses mais frios.

A Tabela 1 contém as equações analíticas obtidas para estimar HR e a Tabela 2 mostra o valor dos coeficientes dessas equações.

Tabela 1 - Equações analíticas usadas para obter as estimativas do número de horas diárias (HE) em que a temperatura permanece num nível igual ou superior a uma temperatura base (T_b) em função da temperatura mínima (T_{m1}), da temperatura máxima (T_x), da temperatura das 21h do dia (T_{21}) e da temperatura mínima do dia posterior (T_{m2}).

| Núm. | Condição | Equação* |
|------|---|--|
| 1 | $T_b \leq T_x; T_b \geq T_{21}; T_b \geq T_{m1}; T_b > T_{m2}$ | $HE = \frac{a(T_x - T_b)}{T_x - T_{m1}} + \frac{b(T_x - T_b)}{T_x - T_{21}} + c$ |
| 2 | $T_b \leq T_x; T_b \leq T_{21}; T_b \geq T_{m1}; T_b \geq T_{m2}$ | $HE = \frac{a(T_x - T_{m1})}{T_x - T_{m1}} + \frac{d(T_{21} - T_b)}{T_{21} - T_{m2}} + e$ |
| 3 | $T_b \leq T_x; T_b \leq T_{21}; T_b \leq T_{m1}; T_b \geq T_{m1}$ | $HE = \frac{d(T_{21} - T_b)}{T_{21} - T_{m2}} + f$ |
| 4 | $T_b \leq T_x; T_b \leq T_{21}; T_b \geq T_{m1}; T_b \leq T_{m2}$ | $HE = \frac{a(T_x - T_b)}{T_x - T_{m1}} + g$ |
| 5 | $T_b \leq T_x; T_b \geq T_{21}; T_b \geq T_{m1}; T_b \leq T_{m2}$ | $HE = \frac{a(T_x - T_b)}{T_x - T_{m1}} + \frac{b(T_x - T_b)}{T_x - T_{21}} + \frac{d(T_{m2} - T_b)}{T_{m2} - T_{21}} + c$ |
| 6 | $T_b \leq T_x; T_b \leq T_{21}; T_b \leq T_{m1}; T_b \leq T_{m2}$ | $HE = 24$ |
| 7 | $T_b > T_x$ | $HE = 0$ |

*a, b, c, ... coeficientes discriminados na Tabela 2.

Os coeficientes de determinação (R^2) entre HR e HE variam de 0,61 a 0,92 com tendência geral a diminuir à medida que aumenta T_b (Tabela 3). Os valores R^2 para os T_b mais altos de cada época foram estimados com um número relativamente pequeno de dias, o que pode explicar o afastamento dessa tendência observado para a T_b mais alta de cada período. Para estimar HR diretamente pelas equações analíticas, o coeficiente b_0 da equação do primeiro grau (estimando HR em função de HE) deveria ser igual a zero e o coeficiente b_1 igual à unidade. Verificou-se que isso não acontece e, como resultado, as médias

de *HE* são menores que as médias de *HR* (Tabela 3). Para contornar o problema deve-se calibrar o modelo, usando para isso as equações da Tabela 3 onde *Y* indica *HE* corrigida e *X* o valor de *HE* obtida com as equações analíticas. A correção não altera o valor de R^2 mas a média de *HE* corrigida coincide com a média de *HR*.

Tabela 2 - Descrição dos coeficientes das equações analíticas usadas para estimar o número de horas diárias em que a temperatura permanece igual ou maior que determinado nível térmico.

| Coeficiente | Significado Tempo (h) decorrido entre: | Valor | |
|-------------|---|---------|---------|
| | | ABR-SET | OUT-MAR |
| a | Hora da mínima e início da hora da máxima | 8 | 9 |
| b | Fim da hora da máxima e 21 horas | 5 | 5 |
| c | Início e o fim da hora da máxima | 1 | 1 |
| d | 21 horas e hora da mínima | 10 | 9 |
| e | Início da hora da máxima e 21 horas | 6 | 6 |
| f | Hora da mínima e 21 horas | 14 | 15 |
| g | Início da hora da máxima e hora da mínima | 16 | 15 |

A análise feita para validação do modelo mostrou que os coeficientes de determinação entre *HR* e *HE* variaram de 0,66 para as T_b mais altas a 0,89 para as T_b mais baixas. Os coeficientes de regressão de *HR* em função de *HE* tiveram bom desempenho (ficando o coeficiente *a* próximo de zero e o coeficiente *b* próximo da unidade) para os T_b mais baixos (até 26° C para os meses mais frios e até 34° para os meses mais quentes). O menor número de dias utilizado para estimar as equações para os T_b mais altos pode explicar a menor precisão obtida nesses casos.

Ao estudar equações de regressão polinomiais constatou-se que *HR* pode ser estimada a partir das temperaturas máximas, das temperaturas das 21 h e seus quadrados. A Tabela 4 mostra os coeficientes das equações e seus respectivos coeficientes de determinação. Verifica-se que, para $T_b < 30^\circ\text{C}$ os coeficientes de determinação obtidos com os modelos de regressão (Tabela 4) são inferiores àqueles obtidos com as equações analíticas (Tabela 3), e que o inverso ocorre com $T_b \geq 30^\circ\text{C}$. Temperaturas maiores que 30° sempre ocorrem na parte mais elevada da curva da variação diária típica da temperatura do ar e estes resultados mostram que equações analíticas não tem bom funcionamento nestas condições. As médias de *HE* obtidas pelas equações de regressão, embora não apareçam nas tabelas, coincidem com as médias de *HR*. A validação desse procedimento mostrou que os coeficientes de determinação entre *HR* e *HE* foram semelhantes aos obtidos na validação para o método das equações analíticas, mas os coeficientes *a* e *b* de

regressão tiveram desempenho inferior aos obtidos com aquele método. Verifica-se também que os desvios médios tem tendência a diminuir à medida que aumenta T_b tanto para as HE obtidas com as equações analíticas calibradas (Tabela 3) como para as HE obtidas com as equações de regressão (Tabela 4). Para $T_b < 30^\circ\text{C}$ os primeiros são menores que os últimos mostrando que, também do ponto de vista desta estatística, as equações analíticas são mais eficientes que as regressões. Isto não acontece quando $T_b \geq 30^\circ\text{C}$.

Tabela 3 - Médias do número diário de horas com temperatura do ar igual ou maior que determinado nível térmico obtidas com os termogramas (HR), médias estimadas com as equações analíticas (HE), estimativa dos coeficientes do modelo de regressão $Y_i = b_0 + b_1 X_{ji} + e_i$, onde Y indica HR e X indica HE, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios médios (\bar{D}).

| Nível térmico ($^\circ\text{C}$) | Número de dias | HR | HE | b_0 | b_1 | R^2 | \bar{D} |
|---|----------------|------|------|-------|--------|-------|-----------|
| Meses de inverno (abril-setembro). | | | | | | | |
| 18 | 491 | 11,6 | 11,2 | 0,51 | 0,9914 | 0,92 | 1,50 |
| 20 | 399 | 9,7 | 9,3 | 0,47 | 0,9909 | 0,84 | 1,77 |
| 22 | 317 | 8,2 | 7,5 | 0,38 | 1,0375 | 0,82 | 1,61 |
| 24 | 226 | 7,4 | 6,4 | 0,29 | 1,1014 | 0,84 | 1,40 |
| 26 | 165 | 5,9 | 5,1 | 0,54 | 1,0433 | 0,87 | 1,23 |
| 28 | 98 | 5,1 | 4,1 | 0,34 | 1,1467 | 0,83 | 1,14 |
| 30 | 53 | 3,3 | 2,9 | 0,38 | 1,0346 | 0,64 | 1,22 |
| 32 | 15 | 2,1 | 1,9 | 0,23 | 1,0242 | 0,79 | 0,86 |
| Meses de verão (outubro-março) | | | | | | | |
| 30 | 242 | 5,2 | 4,3 | 0,51 | 1,1052 | 0,77 | 1,12 |
| 32 | 130 | 4,3 | 3,3 | 0,28 | 1,2330 | 0,65 | 1,27 |
| 34 | 48 | 3,1 | 2,6 | -0,96 | 1,5612 | 0,61 | 0,94 |
| 36 | 12 | 2,0 | 1,8 | -0,70 | 1,5600 | 0,68 | 0,66 |

A distribuição de frequência dos valores absolutos dos desvios $D = |HR - HE|$ está na Tabela 5. Verifica-se nessa tabela que, nos meses mais frios, o método das equações analíticas é mais eficiente que o das regressões pois possui maior percentagem de casos com desvios baixos. Fato contrário acontece nos meses mais quentes. Entretanto, desdobrando os dados dos meses de inverno em dois grupos, um com $T_b < 30^\circ\text{C}$ e outro com $T_b \geq 30^\circ\text{C}$, verificou-se, embora não apareça nas tabelas, que o método das equações analíticas só supera o método das regressões no primeiro grupo.

Analisando o que foi observado com os coeficientes de determinação, com os desvios e com as análises de validação dos métodos de estimativa das HE verifica-se que o método das equações analíticas produz melhores resultados que o método das regressões. Entretanto este último pode ser usado em locais ou períodos que não disponham de registro de temperatura mínima.

Os métodos de estimar HR aqui discutidos levam a resultados apenas razoáveis, visto os coeficientes de

determinação serem relativamente baixos e ainda existirem desvios relativamente altos. A Tabela 5 mostra que foram encontrados cinco casos (0,3%) nos meses mais frios com diferenças $|HR-HE|$ maiores que 10 horas. São provenientes de dias em que a variação da temperatura foge completamente dos padrões normais, isto é, dias em que a temperatura máxima ocorre pela manhã ou á noite, em horário não habitual. Entretanto, as médias estimadas coincidem com as reais, sugerindo que, para séries longas, esses métodos podem ser utilizados, principalmente se não houverem registros de termógrafo.

Tabela 4 - Estimativa dos coeficientes do modelo de regressão $Y_i = b_0 + b_1X_{i1} + b_2X_{i2} + b_3X_{i1}^2 + b_4X_{i2}^2 + e_i$ onde Y é o número estimado de horas com temperatura do ar igual ou acima de um nível térmico, X_1 é a temperatura máxima do dia e X_2 é a temperatura das 21 horas, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios médios (\bar{D}) obtidos para Santa Maria (RS) com base nos anos de 1976, 1979, 1980 e 1982.

| Nível térmico (°C) | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 | R^2 | \bar{D} |
|--|----------|---------|--------|----------|----------|-------|-----------|
| Meses de inverno (abril-setembro) | | | | | | | |
| 18 | -47,99 | 2,9768 | 0,6625 | 0,044306 | 0,008988 | 0,82 | 2,40 |
| 20 | -55,47 | 4,0056 | 0,4438 | 0,063644 | 0,038874 | 0,83 | 1,99 |
| 22 | -54,08 | 4,0857 | 1,1320 | 0,061914 | 0,052319 | 0,82 | 1,74 |
| 24 | -67,90 | 4,8850 | 1,4529 | 0,068700 | 0,053308 | 0,81 | 1,58 |
| 26 | -91,95 | 6,3325 | 1,6993 | 0,087122 | 0,052451 | 0,82 | 1,29 |
| 28 | -159,32 | 11,4801 | 3,4384 | 0,161529 | 0,083328 | 0,82 | 1,04 |
| 30 | -168,34 | 10,1824 | 1,6539 | 0,132184 | 0,038327 | 0,72 | 0,87 |
| 32 | -338,22 | 17,8223 | 0,4288 | 0,230874 | 0,009642 | 0,90 | 0,39 |
| Meses de verão (outubro-março) | | | | | | | |
| 30 | -215,40 | 12,9713 | 1,2710 | 0,178396 | 0,031568 | 0,82 | 0,96 |
| 32 | -377,29 | 21,7721 | 1,3669 | 0,297743 | 0,032238 | 0,69 | 1,14 |
| 34 | -301,27 | 18,1871 | 3,8731 | 0,234407 | 0,080877 | 0,67 | 0,94 |
| 36 | -2088,67 | 105,579 | 7,1294 | 1,395844 | 0,130884 | 0,76 | 0,66 |

Tabela 5 - Distribuição dos valores absolutos das diferenças entre o número de horas diárias com temperatura igual ou maior que determinada temperatura base obtido com os termogramas e aquele estimado nos meses de de abril a setembro (I) e de outubro a março (V) anos de 1976, 1979, 1980 e 1982 em Santa Maria.

| Intervalo (horas) | Frequência absoluta | | Porcentagem absoluta | | Porcentagem acumulada | |
|--|------------------------|-----|-------------------------|------|--------------------------|-------|
| | I | V | I | V | I | V |
| Estimativas pelas equações analíticas calibradas: | | | | | | |
| 0,0 a 0,5 | 449 | 119 | 25,5 | 27,4 | 25,5 | 26,4 |
| 0,5 a 1,0 | 440 | 91 | 22,7 | 21,0 | 48,1 | 48,4 |
| 1,0 a 1,5 | 323 | 92 | 18,3 | 21,2 | 66,4 | 69,6 |
| 1,5 a 2,0 | 205 | 65 | 11,6 | 15,0 | 78,1 | 84,6 |
| 2,0 a 3,0 | 170 | 52 | 9,6 | 12,0 | 87,7 | 96,5 |
| 3,0 a 5,0 | 133 | 15 | 7,5 | 3,5 | 95,2 | 100,0 |
| 5,0 a 10,0 | 79 | 0 | 4,5 | 0 | 99,7 | 100,0 |
| + que 10,0 | 5 | 0 | 0,3 | 0 | 100,0 | 100,0 |
| Estimativas com equações de regressão: | | | | | | |
| 0,0 a 0,5 | 399 | 141 | 22,6 | 32,5 | 22,6 | 32,5 |
| 0,5 a 1,0 | 287 | 111 | 16,3 | 25,6 | 38,9 | 58,1 |
| 1,0 a 1,5 | 271 | 84 | 15,4 | 19,4 | 54,3 | 77,4 |
| 1,5 a 2,0 | 214 | 46 | 12,1 | 10,6 | 66,4 | 88,0 |
| 2,0 a 3,0 | 268 | 42 | 15,2 | 9,7 | 81,6 | 97,7 |
| 3,0 a 5,0 | 215 | 10 | 12,2 | 2,3 | 93,8 | 100,0 |
| 5,0 a 10,0 | 108 | 0 | 6,1 | 0 | 99,9 | 100,0 |
| + que 10,0 | 2 | 0 | 0,1 | 0 | 100,0 | 100,0 |

Tabela 6 - Número mínimo de horas com temperatura do ar maior ou igual a determinados níveis térmicos, $p(X \geq X) = \alpha$, possíveis de ocorrer em cada decêncio dos meses mais frios em Santa Maria, RS, com base no período 1912/91.

| Nível Térmico (°C) | Probabilidade (α) | Abril | | | Maio | | | Junho | | | Julho | | | Agosto | | | Setembro | | |
|--------------------|-------------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|--------|-----|-----|----------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 18 | 0,01 | 277 | 248 | 250 | 239 | 269 | 298 | 199 | 192 | 233 | 211 | 210 | 241 | 223 | 204 | 232 | 174 | 201 | 215 |
| | 0,10 | 222 | 196 | 186 | 168 | 169 | 172 | 116 | 110 | 133 | 115 | 126 | 141 | 126 | 126 | 144 | 120 | 137 | 158 |
| | 0,30 | 187 | 163 | 148 | 126 | 114 | 111 | 72 | 67 | 80 | 67 | 82 | 88 | 76 | 83 | 96 | 88 | 100 | 124 |
| | 0,50 | 165 | 143 | 125 | 101 | 84 | 78 | 49 | 45 | 53 | 43 | 57 | 60 | 50 | 60 | 69 | 70 | 79 | 104 |
| | 0,70 | 144 | 124 | 104 | 80 | 60 | 52 | 32 | 28 | 33 | 25 | 38 | 39 | 31 | 41 | 48 | 54 | 60 | 86 |
| | 0,90 | 118 | 100 | 78 | 53 | 34 | 27 | 14 | 12 | 12 | 9 | 17 | 18 | 14 | 22 | 27 | 36 | 39 | 63 |
| | 0,99 | 88 | 73 | 51 | 30 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 10 | 19 | 0 | 40 |
| 20 | 0,01 | 242 | 202 | 193 | 180 | 194 | 224 | 154 | 130 | 170 | 151 | 166 | 176 | 168 | 174 | 187 | 138 | 160 | 169 |
| | 0,10 | 181 | 150 | 136 | 119 | 116 | 124 | 79 | 74 | 93 | 81 | 96 | 102 | 92 | 98 | 108 | 88 | 99 | 116 |
| | 0,30 | 144 | 119 | 103 | 84 | 74 | 73 | 43 | 44 | 54 | 46 | 59 | 63 | 52 | 59 | 67 | 59 | 65 | 86 |
| | 0,50 | 121 | 100 | 83 | 64 | 51 | 47 | 25 | 28 | 34 | 28 | 39 | 42 | 32 | 38 | 45 | 44 | 47 | 68 |
| | 0,70 | 101 | 83 | 66 | 48 | 34 | 28 | 13 | 16 | 19 | 14 | 24 | 26 | 18 | 23 | 29 | 32 | 32 | 53 |
| | 0,90 | 76 | 62 | 46 | 29 | 16 | 10 | 4 | 0 | 4 | 0 | 8 | 8 | 1 | 8 | 12 | 18 | 17 | 35 |
| | 0,99 | 50 | 40 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 18 |
| 22 | 0,01 | 189 | 162 | 156 | 134 | 148 | 159 | 96 | 93 | 130 | 112 | 124 | 133 | 137 | 144 | 138 | 104 | 124 | 136 |
| | 0,10 | 136 | 110 | 100 | 83 | 81 | 86 | 51 | 50 | 67 | 57 | 70 | 75 | 70 | 77 | 78 | 62 | 70 | 85 |
| | 0,30 | 104 | 80 | 68 | 54 | 47 | 48 | 27 | 28 | 36 | 30 | 41 | 45 | 37 | 43 | 46 | 40 | 42 | 58 |
| | 0,50 | 85 | 63 | 51 | 39 | 30 | 29 | 15 | 17 | 20 | 16 | 26 | 29 | 21 | 26 | 30 | 27 | 27 | 42 |
| | 0,70 | 68 | 48 | 37 | 26 | 18 | 15 | 6 | 8 | 10 | 7 | 15 | 16 | 9 | 14 | 17 | 18 | 16 | 30 |
| | 0,90 | 47 | 31 | 22 | 13 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 | 6 | 17 |
| | 0,99 | 0 | 16 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 24 | 0,01 | 154 | 133 | 122 | 106 | 108 | 110 | 59 | 61 | 78 | 75 | 83 | 92 | 99 | 109 | 108 | 80 | 88 | 104 |
| | 0,10 | 102 | 79 | 70 | 57 | 56 | 57 | 30 | 32 | 42 | 37 | 46 | 50 | 49 | 57 | 58 | 44 | 48 | 60 |
| | 0,30 | 72 | 51 | 43 | 33 | 30 | 30 | 15 | 16 | 23 | 18 | 26 | 28 | 24 | 30 | 32 | 25 | 27 | 36 |
| | 0,50 | 55 | 35 | 29 | 20 | 17 | 17 | 7 | 8 | 13 | 8 | 16 | 17 | 12 | 17 | 19 | 16 | 16 | 24 |
| | 0,70 | 40 | 23 | 18 | 11 | 8 | 7 | 0 | 2 | 4 | 0 | 7 | 8 | 3 | 7 | 9 | 9 | 8 | 15 |
| | 0,90 | 24 | 11 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 |
| | 0,99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 0,01 | 107 | 86 | 80 | 65 | 65 | 67 | 31 | 31 | 43 | 36 | 46 | 50 | 63 | 65 | 78 | 54 | 64 | 71 |
| | 0,10 | 65 | 48 | 42 | 33 | 32 | 32 | 15 | 15 | 22 | 18 | 25 | 28 | 31 | 34 | 39 | 28 | 32 | 39 |
| | 0,30 | 43 | 28 | 23 | 17 | 16 | 16 | 7 | 6 | 11 | 8 | 13 | 15 | 14 | 18 | 20 | 15 | 16 | 22 |
| | 0,50 | 30 | 18 | 13 | 9 | 8 | 7 | 2 | 1 | 4 | 2 | 7 | 9 | 5 | 10 | 10 | 8 | 8 | 13 |
| | 0,70 | 20 | 10 | 6 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 3 | 3 | 2 | 7 |
| | 0,90 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,99 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 0,01 | 76 | 49 | 55 | 42 | 37 | 41 | 15 | 10 | 17 | 17 | 24 | 28 | 36 | 45 | 53 | 41 | 47 | 49 |
| | 0,10 | 42 | 27 | 25 | 19 | 18 | 18 | 7 | 5 | 8 | 6 | 12 | 13 | 17 | 22 | 26 | 20 | 22 | 25 |
| | 0,30 | 24 | 15 | 11 | 7 | 7 | 6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 6 | 7 | 10 | 12 | 8 | 10 | 13 |
| | 0,50 | 15 | 9 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | 0 | 2 | 0 | 3 | 5 | 2 | 3 | 6 |
| | 0,70 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0,01 | 40 | 24 | 30 | 21 | 13 | 17 | 4 | -- | 4 | 9 | 8 | 10 | 16 | 22 | 27 | 19 | 27 | 26 |
| | 0,10 | 20 | 12 | 12 | 7 | 6 | 5 | 0 | -- | 0 | 0 | 1 | 4 | 6 | 11 | 12 | 10 | 12 | 13 |
| | 0,30 | 10 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 3 | 4 | 6 |
| | 0,50 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 32 | 0,01 | 22 | 15 | 11 | 7 | 2 | 4 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 3 | 6 | 10 | 10 | 17 | 14 |
| | 0,10 | 10 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |
| | 0,30 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Verificou-se que o número de horas em que a temperatura do ar permaneceu em nível igual ou superior aos diversos T_b adere à distribuição Gama. Considerando $\alpha=0,05$, das 209 situações estudadas foi rejeitada H_0 (frequência observada \equiv frequência esperada) numa só situação enquanto que para a distribuição normal H_0 foi rejeitada em 94 situações.

As Tabelas 6 e 7 apresentam o número mínimo de horas esperados com temperatura igual ou superior aos diversos T_b considerando diversas probabilidades, obtidas com a distribuição Gama, ou seja, em cada situação ocorre o número de horas especificado ou mais. Na Tabela 6 verifica-se que, mesmo no mês mais frio (junho), ocorre um considerável número de horas com temperatura elevada. Em média ($p=0,50$) 147 h com $T_b \geq 18^\circ\text{C}$, 87 h com $T_b \geq 20^\circ\text{C}$, 52 h com $T_b \geq 22^\circ\text{C}$ e 28 h com $T_b \geq 24^\circ\text{C}$. No mesmo mês, segundo HELDWEIN (trabalho não publicado), ocorrem, em média, 84 h e 321 h com temperatura igual ou inferior a 7°C e 13°C , respectivamente. Isso mostra a existência de oscilações no nível da temperatura e que parte do efeito de quebra de dormência de plantas criófitas proporcionado por temperaturas baixas é anulado pela ocorrência de temperaturas altas. Danos maiores são observados se as temperaturas altas ocorrerem depois de satisfeitas as exigências de frio. Nesse caso desencadeiam processos vegetativos e/ou reprodutivos tornando as plantas suscetíveis a temperaturas baixas que venham a ocorrer posteriormente.

Tabela 7 - Número mínimo de horas com temperatura do ar maior ou igual a determinados níveis térmicos, $p(X \geq X) = \alpha$, possíveis de ocorrer em cada decênio dos meses mais quentes em Santa Maria, RS, com base no período 1912/91.

| Nível Térmico ($^\circ\text{C}$) | Probabilidade (α) | Outubro | | | Novembro | | | Dezembro | | | Janeiro | | | Fevereiro | | | Março | | |
|------------------------------------|----------------------------|---------|----|----|----------|----|----|----------|----|-----|---------|-----|-----|-----------|-----|----|-------|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 30 | 0,01 | 28 | 36 | 38 | 38 | 66 | 58 | 75 | 95 | 112 | 123 | 117 | 123 | 109 | 102 | 96 | 89 | 88 | 70 |
| | 0,10 | 14 | 17 | 21 | 21 | 34 | 36 | 46 | 57 | 70 | 75 | 73 | 78 | 66 | 62 | 57 | 51 | 48 | 39 |
| | 0,30 | 6 | 7 | 12 | 12 | 18 | 23 | 30 | 37 | 47 | 50 | 49 | 53 | 43 | 41 | 36 | 31 | 27 | 22 |
| | 0,50 | 0 | 1 | 6 | 7 | 10 | 16 | 21 | 26 | 34 | 36 | 36 | 39 | 31 | 29 | 25 | 21 | 16 | 14 |
| | 0,70 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 11 | 14 | 18 | 24 | 24 | 25 | 28 | 21 | 20 | 16 | 13 | 8 | 7 |
| | 0,90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | 9 | 13 | 13 | 14 | 16 | 11 | 11 | 7 | 5 | 1 | 0 |
| 0,99 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | |
| 32 | 0,01 | 18 | 22 | 24 | 20 | 40 | 32 | 49 | 61 | 78 | 91 | 82 | 96 | 74 | 67 | 63 | 54 | 56 | 42 |
| | 0,10 | 7 | 9 | 11 | 11 | 20 | 18 | 27 | 33 | 43 | 50 | 46 | 52 | 40 | 38 | 34 | 28 | 28 | 20 |
| | 0,30 | 1 | 2 | 5 | 5 | 10 | 11 | 16 | 19 | 25 | 29 | 27 | 30 | 23 | 23 | 19 | 15 | 13 | 10 |
| | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 6 | 10 | 12 | 16 | 18 | 17 | 19 | 14 | 15 | 11 | 8 | 6 | 4 |
| | 0,70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 6 | 9 | 10 | 10 | 11 | 8 | 8 | 5 | 3 | 0 | 0 |
| | 0,90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34 | 0,01 | 10 | 11 | 11 | 11 | 26 | 19 | 28 | 33 | 48 | 55 | 50 | 57 | 37 | 36 | 31 | 32 | 34 | 26 |
| | 0,10 | 0 | 3 | 3 | 4 | 9 | 8 | 13 | 15 | 22 | 27 | 23 | 27 | 18 | 18 | 15 | 12 | 12 | 6 |
| | 0,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 | 7 | 10 | 13 | 11 | 13 | 8 | 9 | 7 | 3 | 2 | 0 |
| | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 6 | 5 | 6 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 0,70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36 | 0,01 | 4 | 4 | 5 | 5 | 15 | 10 | 12 | 19 | 24 | 27 | 27 | 25 | 15 | 20 | 15 | 16 | 18 | 11 |
| | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 | 6 | 9 | 12 | 10 | 10 | 6 | 7 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| | 0,30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Com relação às culturas de verão a Tabela 7 mostra que, por exemplo, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, num em cada dois anos, ocorrem respectivamente, 81, 111 e 85 horas com temperatura igual ou acima de 30°C , o que corresponde a mais de três horas por dia. Nas mesmas condições ocorrem 38, 54 e 50 horas com a temperatura alcançando 32°C , ou seja, aproximadamente 1,5 horas por dia. Esses níveis térmicos inibem a fotossíntese e reduzem a taxa de crescimento de inúmeras espécies vegetais (SIERRA &

MURPHY, 1973). Na mesma Tabela verifica-se que no 3º decêndio de dezembro e em janeiro ocorrem temperaturas acima de 36°C em 30% dos anos. Esta constatação evidencia a necessidade de, na estimativa da soma térmica dos cultivos, utilizar uma temperatura base superior. Os efeitos maléficos dessas temperaturas não são fáceis de serem percebidos por que as mesmas ocorrem numa época em que os dias são os mais longos do ano.

CONCLUSÕES

- 1 - Nos meses mais frios, deve-se estimar o número de horas em que a temperatura do ar permanece acima de determinados níveis térmicos com o modelo analítico.
- 2 - Para os meses de mais quentes tanto o modelo analítico como o uso de regressão são adequados para estimar o número de horas em que a temperatura do ar permanece acima de determinados níveis térmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELOCCI, L.P., CAMARGO, M.B.P. de, PEDRO JR, M.J. et al Estimativa do total de horas abaixo de determinada temperatura base através de medidas diárias da temperatura do ar. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 4, p. 27-36, 1979.
- CAMPOS, H. de **Estatística não Paramétrica**, 4ª ed., Piracicaba: ESALQ/USP, 1983, 349 p.
- ESTEFANEL, V., MANFRON, P. A., SACCOL, A. V. *et al* Análise das temperaturas mínimas ocorridas em Santa Maria, RS. II - Probabilidades das datas de ocorrência das temperaturas mínimas do ar compreendidas no intervalo -1 a 9°C. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 18, n.1, p. 15-28, 1988.
- ESTEFANEL, V., SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A., et al Ocorrência e duração das temperaturas mínimas diárias prejudiciais à fecundação das flores do arroz em Santa Maria, RS. II - Estimativa do número diário de horas com temperaturas baixas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p.305-313, 1991.
- ESTEFANEL, V., SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar prejudiciais aos cultivos agrícolas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, n. 1, p. 57-63. 1994.
- GILMORE, E., ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.

- HELDWEIN, A.B. **Avaliação de métodos de estimativa de totais diários de horas de frio, para Santa Maria, RS.** Piracicaba: USP, 1983. 96 p. Tese (Mestrado em Agrometeorologia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1983.
- HELDWEIN, A.B., ANGELOCCI, L.R., ESTEFANEL, V. et al. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria-RS. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 19, n. 1/2, p. 45-92, 1989.
- POLA, A.C., ANGELOCCI, L.R. Avaliação de estimativa do número de "horas de frio" para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n.1, p. 105-116, 1993 .
- SIERRA, E.M., MURPHY, G.M. **Aspectos Bioclimáticos del cultivo del sorgo.** Viedna, Rio Negro: IDEVI/Estación Experimental de Riego y Cultivo, 1973. P.28-54 (Série Técnica. V. 3).
- THOM, H.C.S. - The distribution of freeze date and freeze-free period for climatological series with freezeless years. **Monthly Weather Review**, Calcutta, v. 87, n. 4, p. 136-144, 1959.
- VIVALDI, L.J. **Utilização da distribuição Gama em dados pluviométricos.** Piracicaba, 1973, 77 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1973.