

ISSN 0104-1347

Diferença de temperatura mínima do ar medida no abrigo e na relva e probabilidade de sua ocorrência em eventos de geada no Estado de Santa Catarina¹

Difference between screen and grass minimum temperature and probability of its occurrence in nights with frost in the State of Santa Catarina, Brazil

José Gabriel da Silva² e Paulo Cesar Sentelhas³

Resumo - Determinou-se a diferença média (**DT**) entre a temperatura mínima diária do ar medida no abrigo meteorológico (1,5m de altura) e junto à relva (0,05m de altura), em oito locais do Estado de Santa Catarina. Foram utilizadas as temperaturas mínimas diárias do ar obtidas na relva (*T_{mr}*) e no abrigo meteorológico (*T_{ma}*) dos seguintes locais: Campos Novos, Chapecó, Lages, Ponte Cerrada, São Joaquim, São Miguel D'Oeste, Urussanga e Videira, pertencentes à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Os dados da **DT** foram divididos em intervalos de classe de modo a se obter sua distribuição, à qual foram aplicadas três funções probabilísticas: normal, log-normal e gama, para a determinação de sua probabilidade de ocorrência. Os resultados mostraram que a **DT** média variou de 2,1 a 4,8°C entre as localidades analisadas, indicando haver efeito da altitude nessa diferença. Com relação à probabilidade de ocorrência de dada **DT**, utilizou-se a função Normal para as localidades de Chapecó, Lages, Ponte Cerrada, São Miguel D'Oeste e Videira, a função log-normal para Campos Novos e Urussanga e a função gama para São Joaquim. As maiores probabilidades de **DT** encontram-se na faixa de 0,1 a 3,0°C para Campos Novos, São Miguel D'Oeste, Urussanga e Videira. Em Ponte Cerrada a maior probabilidade é de **DT** entre 2,1 e 4,0°C, em Chapecó e São Joaquim entre 3,1 e 5,0°C e em Lages entre 4,1 e 6,0°C.

Palavras-chave: geada, temperatura mínima, relva, abrigo, probabilidade, gama, log-normal.

Abstrac - The difference between air minimum temperature (**DT**) obtained in the meteorological screens (at 1.5m above the ground) and on grass (at 0.05m above the ground) was determined for eight locals in the state of Santa Catarina, Brazil. Daily data of air minimum temperature obtained on the grass (*T_{mr}*) and in the meteorological screen (*T_{ma}*) of the locals: Campos Novos, Chapecó, Lages, Ponte Cerrada, São Joaquim, São Miguel D'oeste, Urussanga, and Videira belonging to the Company of Agricultural Research and Rural Extension of Santa Catarina (EPAGRI) were used to study the relationship between *T_{mr}* and *T_{ma}* in nights with frost. The data of *T_{mr}* and *T_{ma}* were processed, settling down the medium difference between them (**DT**). Later on, the data of **DT** were divided in intervals of classes to obtain its distribution. Three functions probabilistics were applied: normal, log-normal and gama, for the determination of its probability. Results showed that **DT** varied from 2.1 to 4.8°C among the analyzed locals, indicating the effect of the altitude in **DT**. In relation to the occurrence probability of given **DT**, the normal function was used to the places of Chapecó, Lages, Ponte Cerrada, São Miguel D'Oeste and Videira, the log-normal function for Campos Novos and Urussanga and the gama function to São Joaquim. The largest probabilities of **DT** is from 0.1 to 3.0°C for Campos Novos, São Miguel D'Oeste, Urussanga and Videira. In Ponte Cerrada the largest probability of **DT** was between 2.1 and 4.0°C, in Chapecó and São Joaquim between 3.1 and 5.0°C, and in Lages between 4.1 and 6.0°C.

Key words: frost, minimum temperature, grass, screen, probability, gama, log-normal.

¹Parte de dissertação de mestrado do primeiro autor. Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, ESALQ/USP.

²Engº Agrº, Prof. M.Sc., Eng. Ambiental, UNISUL, Campus Palhoça, SC, CEP: 88.130-000. lillegabriel@hotmail.com

³Engº Agrº, Prof. Doutor, DCE/ESALQ/USP, C.P. 09, 13.418-970, Piracicaba, SP. pccsentel@carpa.ciagri.usp.br

Introdução

A temperatura mínima do ar observada no abrigo meteorológico, a 1,5m de altura, é uma importante informação no levantamento de geadas, sendo consideradas as temperaturas de 2°C a 3°C como limites abaixo dos quais se iniciam os danos nos vegetais (CAMARGO et al., 1993). No entanto, segundo BOOTSMA (1976a), um termômetro exposto na relva, a 0,05m de altura, indica com melhor precisão as condições de geada, pois integra a atuação das condições meteorológicas que ocorrem durante o período noturno, como a velocidade do vento, a nebulosidade e a pressão parcial do vapor d'água, as quais interferem no balanço de radiação.

Em face disso, torna-se de grande importância o conhecimento da diferença existente entre temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico e na relva, para que a partir da primeira seja possível se fazer inferências a respeito dos danos decorrentes das geadas.

A diferença entre a temperatura mínima medida no abrigo e na relva depende das condições atmosféricas associadas aos fatores topográficos e às características da superfície. Para as condições padrões de um posto meteorológico, as maiores diferenças ocorrem em noites de céu límpido, sem vento e com baixa umidade do ar, o que proporciona intensa emissão de energia (onda longa) pela superfície, intensificando também a inversão térmica.

HELDWEIN et al. (1988) observaram que a temperatura mínima do ar (média mensal), medida a 5cm, tanto sobre a relva como sobre o solo desnudo, é sempre inferior àquela registrada no abrigo meteorológico. De acordo com BOOSTMA (1980), nas noites de intensa irradiação, a diferença entre a temperatura mínima no abrigo meteorológico e na relva pode ser de 5°C ou mais.

Utilizando uma série de 10 anos, POLA (1993) calculou a diferença média relva-abrigo em noites de geada em Caçador (SC), verificando uma diferença de 2°C entre elas. SENTELHAS et al. (1995), verificaram que as diferenças de temperaturas mínimas entre abrigo e relva apresentam uma variação acentuada entre os diversos locais do Estado de São Paulo, em média, de 3,3 a 5,7°C, sendo essas variações explicadas pelas diferentes condições topográficas do local de instalação das estações meteorológicas. GRODZKI et al. (1996) encontraram diferenças entre a temperatura mínima no abrigo e na relva de 2,8°C a 3,8°C, que de acordo com os

autores, situam-se dentro da faixa encontrada na literatura. Resultados semelhantes foram obtidos por FIGUEIREDO (2000), que encontraram diferenças por volta de 3,4°C entre as temperaturas mínimas obtidas no abrigo e na relva, analisando dados de São Paulo, Presidente Prudente e Campos do Jordão, no Estado de São Paulo.

BOOTSMA (1976b), utilizando dados meteorológicos obtidos na ilha de Príncipe Edward, no Canadá, correlacionou vários elementos atmosféricos com a diferença de temperatura mínima entre o abrigo meteorológico e a relva, e verificou que a nebulosidade e a velocidade do vento foram as variáveis de maior significância na regressão, explicando cerca de 74% das variações da diferença de temperatura abrigo-relva. SENTELHAS et al. (1995) obtiveram resultados semelhantes, para as condições do Estado de São Paulo, onde 78% da variação da diferença de temperatura mínima entre o abrigo e a relva foi devida à velocidade do vento.

Em razão da geada ser um dos grandes problemas que os agricultores catarinenses enfrentam, em virtude da localização geográfica e da topografia irregular do Estado, é de relevância estudos que possam subsidiar o entendimento desse fenômeno meteorológico e possibilitar a identificação das diferenças existentes entre as distintas regiões. Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi determinar, para diferentes localidades do Estado de Santa Catarina, a diferença média entre a temperatura mínima do ar obtida em abrigo meteorológico e junto à relva e a probabilidade de sua ocorrência para cada uma das localidades.

Material e métodos

Foram utilizados dados diários de temperatura mínima do ar obtidos no abrigo meteorológico (T_{ma}), a 1,5m acima do nível do solo, e na relva (T_{mr}), a 0,05m acima do nível do solo, de oito localidades do Estado de Santa Catarina (Tabela 1).

A diferença entre a temperatura mínima medida no abrigo, a 1,5m de altura, e na relva, a 0,05m de altura, foi determinada sempre que a T_{mr} foi menor ou igual a 0,0°C. Foram obtidos os valores médios dessa diferença (ΔT), para cada localidade, com os respectivos desvios padrão, calculando-se também as medianas, as modas e os coeficientes de variação.

Os valores de ΔT , de cada localidade, foram classificados em 15 intervalos de classe (0,0 a 1,0°C;

1,1 a 2,0°C; 2,1 a 3,0°C;...; 12,1 a 13,0°C; 13,1 a 14,0°C; 14,1 a 15,0°C), de modo a se analisar a distribuição dessas diferenças e determinar as probabilidades de suas ocorrências. Para tanto foram utilizadas três funções de distribuição:

Distribuição Normal:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2p}} e^{-0,5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

em que μ é a média; σ o desvio padrão; e x o valor da diferença de temperatura a ser considerada.

Distribuição Log - Normal:

$$f(x) = \frac{1}{sx\sqrt{2p}} e^{-0,5\left(\frac{\ln(x)-m}{s}\right)^2} \quad (2)$$

Distribuição Gama:

$$f(x) = \frac{1}{b^g \Gamma(g)} x^{g-1} e^{-x/b} \quad (3)$$

em que γ e β são estimados pelo método da máxima verossimilhança, como segue:

$$\gamma = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + 4\frac{A}{3}}\right) \quad (4)$$

sendo:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x_i) f}{N} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\gamma} \quad (6)$$

Para verificar qual das funções de distribuição melhor se ajustou aos dados observados utilizou-se o teste de aderência qui-quadrado (χ^2), dado por:

$$\chi^2_{calc} = \sum \left[\frac{(Fobs - Fest)^2}{Fest} \right] \quad (7)$$

em que Fobs é a frequência observada de cada intervalo de classe e Fest a frequência estimada ou teórica. Para a aceitação da hipótese de igualdade entre as duas frequências utilizou-se, conforme ASSIS et al. (1996), o nível de 5% de probabilidade de erro e 12 graus de liberdade, haja vista que todas as funções de distribuição dependem de dois parâmetros.

Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta a média, mediana, moda, desvio padrão e coeficiente de variação da diferença de temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico e na relva (ΔT) para as oito localidades estudadas.

De acordo com os dados da Tabela 2, observa-se uma diferença média de 3,3°C considerando-se todas as localidades, analisadas. Quando comparadas as localidades verifica-se que a menor diferença média, igual a 2,1°C, ocorreu em Urussanga e a maior em São Joaquim, igual a 4,8°C. Estes resultados encontram-se dentro dos limites de variação encontrados por outros autores, como SENTELHAS et al. (1995) que obtiveram ΔT de 3,3 a 5,7°C, em 10 localidades do Estado de São Paulo, e GRODZKI et al. (1996) que obtiveram ΔT de 2,8 a 3,8°C, em diversas

Tabela 1 Relação das localidades do Estado de Santa Catarina utilizadas com as respectivas coordenadas geográficas, período de observação e número de anos de observações meteorológicas.

Localidade	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)	Período	Nº de anos
Campos Novos	946	27°24'00''	51°12'00''	1985-96	12
Chapecó	679	27°07'00''	53°37'00''	1985-96	11
Lages	937	27°48'44''	50°19'37''	1984-96	13
Ponte Serrada	1100	26°52'20''	52°01'30''	1986-96	10
São Joaquim	1415	28°19'00''	49°56'00''	1985-96	12
São Miguel D'Oeste	754	26°44'00''	53°35'00''	1988-96	09
Urussanga	48	28°31'18''	49°19'03''	1985-96	10
Videira	775	27°00'14''	51°09'00''	1984-96	11

Fonte: CIASC/EPAGRI.

Tabela 1. Relação das localidades do Estado de Santa Catarina utilizadas com as respectivas coordenadas geográficas, período de observação e número de anos de observações meteorológicas.

Localidade	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)	Período	Nº de anos
Campos Novos	946	27°24'00''	51°12'00''	1985-96	12
Chapecó	679	27°07'00''	53°37'00''	1985-96	11
Lages	937	27°48'44''	50°19'37''	1984-96	13
Ponte Serrada	1100	26°52'20''	52°01'30''	1986-96	10
São Joaquim	1415	28°19'00''	49°56'00''	1985-96	12
São Miguel D'Oeste	754	26°44'00''	53°35'00''	1988-96	09
Urussanga	48	28°31'18''	49°19'03''	1985-96	10
Videira	775	27°00'14''	51°09'00''	1984-96	11

Fonte: CIASC/EPAGRI.

localidades do Estado do Paraná. Os valores extremos de ΔT foram obtidos para as duas localidades que possuem a menor (48m) e a maior (1415m) altitude, o que dá indícios da correlação entre essas duas variáveis. Isto pode ser observado pelos dados da Figura 1.

Observa-se na Figura 1 que, apesar do r^2 ter sido baixo, explicando apenas 41,84% das dispersões entre os pontos, existe uma certa linearidade nessa relação, significativa a 10% de probabilidade. Os dados estão de acordo com MASSIGNAM & DITTRICH (1998), que verificaram para vinte e uma estações meteorológicas no Estado de Santa Catarina, que as variações no número médio mensal e da probabilidade de ocorrência de geada, na sua maioria, estão relacionadas com a altitude.

Além da altitude, outros fatores influenciam na magnitude das diferenças existentes entre a temperatura mínima no abrigo e na relva, entre eles as condições atmosféricas, representadas pela umidade,

nebulosidade e velocidade do vento, elementos relacionados ao balanço de radiação e à formação de inversão térmica em noites de intenso resfriamento, ou seja, sob o domínio de uma massa de ar polar.

De acordo com BOOTSMA (1976b), a nebulosidade no período noturno e a velocidade do vento explicam cerca de 74% da variação da diferença entre a temperatura mínima do abrigo e da relva, sendo as maiores diferenças obtidas em noites de baixa velocidade do vento e com céu límpido. SENTELHAS et al. (1995) verificaram para 10 localidades do Estado de São Paulo, que a diferença de temperatura mínima entre o abrigo e a relva, em noites de geada, pode ser estimada em função de variáveis como a velocidade do vento e a nebulosidade e que a T_{mr} pode ser estimada a partir da T_{ma} e da temperatura do ponto de orvalho às 21 horas. Na validação das equações de estimativa propostas, os autores encontraram erros variando de 0,8 a 1,4°C para a estimativa da T_{mr} e de 0,9 a 1,5°C para a estimativa da ΔT .

As frequências observadas e as estimadas pelos modelos probabilísticos são apresentadas na Figura 2 e os valores do teste χ^2 estão na Tabela 3. Observa-se que os melhores ajustes foram obtidos com a distribuição normal para as localidades de Chapecó, Lages, Ponte Serrada, São Miguel D'Oeste e Videira, log-normal para Campos Novos e Urussanga e gama para São Joaquim.

Observa-se, na Tabela 4, que as maiores frequências de ocorrência de ΔT encontraram-se na faixa de 0,1 a 3,0°C nas localidades de Campos Novos, São Miguel D'Oeste, Urussanga e Videira, com 49,4%, 66,7%, 61,6% e 75,2% de probabilidade, respectivamente. Na localidade de Ponte Serrada a maior frequência de ΔT encontra-se na faixa de 2,1 a 4,0°C com 45,1% da probabilidade. Em Chapecó e São Joaquim, ΔT entre 3,1 e 5,0°C foi a que apresentou a maior frequência, respectivamente, com 45,7% e

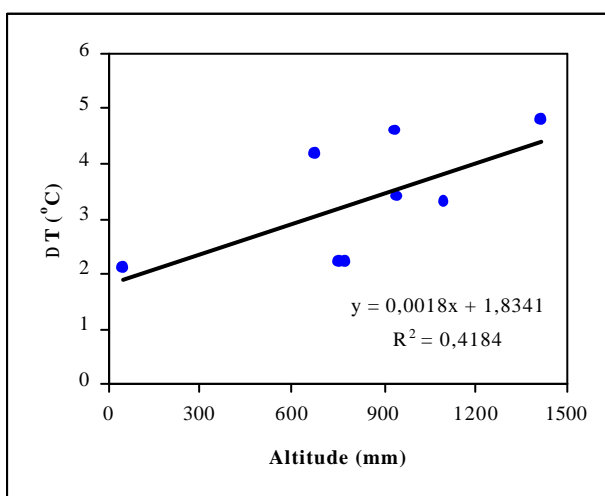


Figura 1. Relação entre a média da diferença de temperatura mínima do ar medida no abrigo meteorológico e na relva (ΔT) e a altitude, no Estado de Santa Catarina.

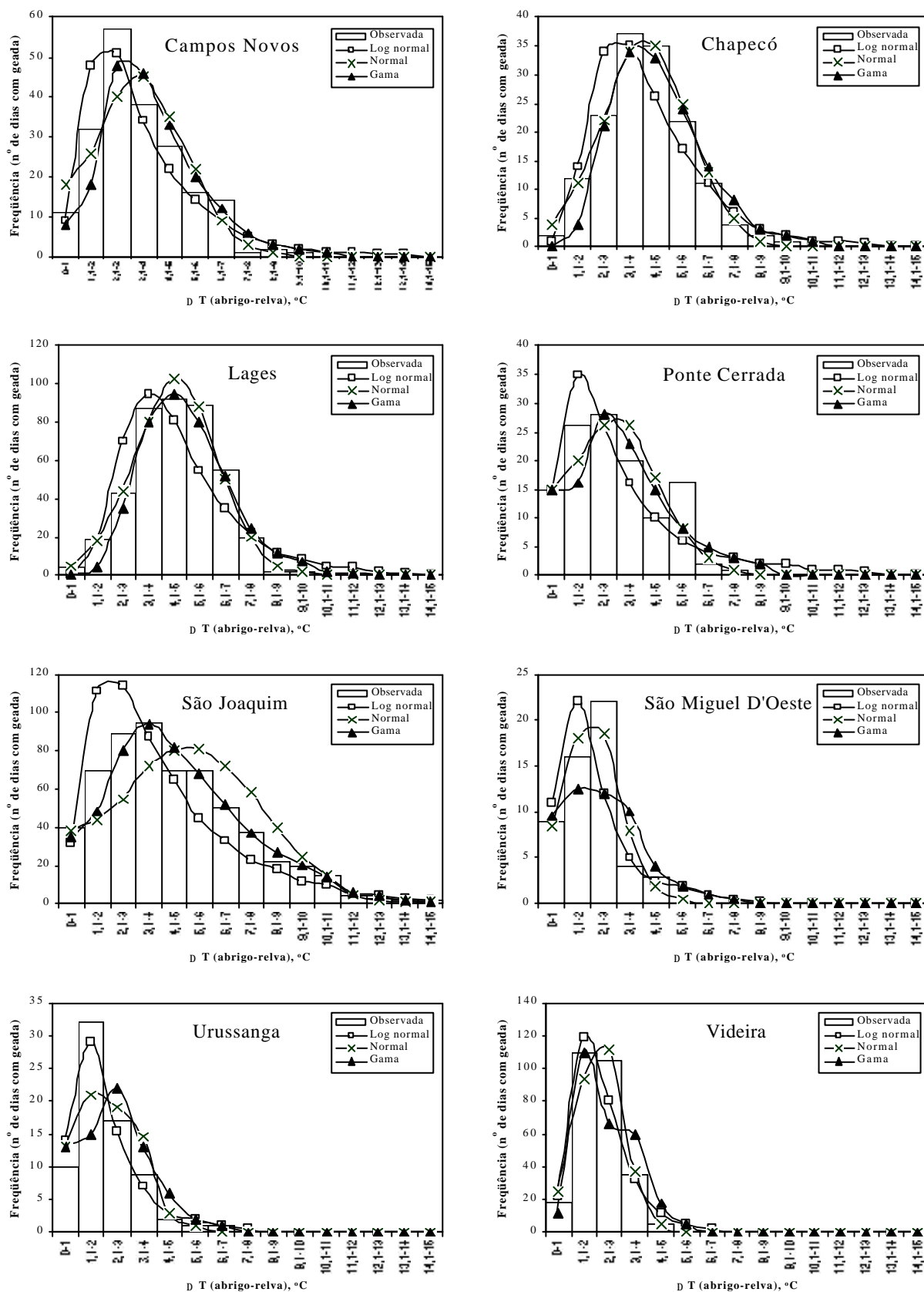


Figura 2. Frequência observada e estimada pelos modelos probabilísticos normal, gama e log normal, da diferença de temperatura mínima abrigo-relva em noites de geada, em oito localidades de Santa Catarina.

Tabela 3 Valores do teste do qui-quadrado (χ^2) para três modelos probabilísticos no ajuste da diferença de temperatura mínima do ar entre abrigo e relva (ΔT), em noites de geada para oito localidades de Santa Catarina ($\chi^2_{0,05} = 21,03$).

Localidade	Normal	Gama	Log normal
Campos Novos	30,98*	22,70*	17,88 ^{ns}
Chapecó	5,84 ^{ns}	24,81*	19,60 ^{ns}
Lages	5,68 ^{ns}	193,67*	148,48*
Ponte Cerrada	14,17 ^{ns}	24,33*	28,58*
São Joaquim	95,66*	16,48 ^{ns}	56,87*
São Miguel D'Oeste	4,65 ^{ns}	8,61 ^{ns}	13,86 ^{ns}
Urussanga	38,64*	23,58*	3,52 ^{ns}
Videira	6,22 ^{ns}	46,27*	19,27 ^{ns}

* - Significancia para $\alpha = 0,05$; ^{ns} - Não significativo.

30,0% de probabilidade de ocorrência. Em Lages a maior frequência foi no intervalo de 4,1 a 6,0°C com 46,2% de probabilidade de ocorrer.

Considerando-se os eventos extremos, ou seja, ΔT maior do que 7°C, observa-se que a maior probabilidade de ocorrência desse evento é em São Joaquim com 21%, sendo que nessa localidade ainda há cerca de 6,4% de chances de ΔT ser maior do que 10°C. Para as demais localidades, a probabilidade de

ΔT ser maior do que 7°C é baixa, sendo da ordem de 6,8% em Campos Novos, 5,9% em Lages, 3,9% em Chapecó, 1,3% em Urussanga, 0,7% em Ponte Cerrada e não chegando a ocorrer nas localidades de São Miguel D'Oeste e Videira. SENTELHAS et al. (1995) encontraram resultados semelhantes para o Estado de São Paulo, onde a maior frequência de ocorrência de ΔT foi no intervalo de 2,1 a 4,0°C, com 49,65% de probabilidade. Estes autores verificaram também que a probabilidade de ΔT ser maior do que 7,0°C foi de apenas 5,0%.

Conclusões

-A diferença média entre a temperatura mínima do abrigo e da relva (ΔT), em noites de geada, variou entre as localidades, de 2,1 a 4,8°C, havendo uma certa influência da altitude na magnitude dessa variável.

-Para determinação da probabilidade de ocorrência de dada diferença de temperatura mínima entre o abrigo e a relva (ΔT), deve-se utilizar a função normal para as localidades de Chapecó, Lages, Ponte Cerrada, São Miguel D'Oeste e Videira, a função log-normal para Campos Novos e Urussanga e a função gama para São Joaquim.

Tabela 4. Probabilidade (%) de ocorrência da diferença de temperatura mínima do ar entre o abrigo e a relva em noites de geada, para oito localidades do Estado de Santa Catarina.

Classes ΔT (°C)	Campos Novos	Chapecó	Lages	Ponte Cerrada	São Joaquim	São Miguel D'Oeste	Urussanga.	Videira
0,0 a 1,0	4,6	2,8	1,2	12,9	5,9	15,4	19,2	9,2
0,1 a 2,0	23,8	7,0	4,0	16,9	8,2	32,6	39,9	34,5
2,1 a 3,0	25,6	15,0	11,0	22,6	13,6	34,1	21,7	40,7
3,1 a 4,0	16,9	22,4	19,8	22,5	16,0	14,9	10,0	14,2
4,1 a 5,0	11,0	23,3	25,1	14,9	14,0	2,7	4,5	1,4
5,1 a 6,0	6,8	17,0	21,1	7,1	11,4	0,2	2,2	0,0
6,1 a 7,0	4,1	8,6	11,9	2,4	8,8	0,0	1,1	0,0
7,1 a 8,0	2,5	3,0	4,5	0,6	6,5	0,0	0,6	0,0
8,1 a 9,0	1,6	0,7	1,2	0,1	4,7	0,0	0,3	0,0
9,1 a 10,0	1,0	0,2	0,2	0,0	3,4	0,0	0,2	0,0
10,1 a 11,0	0,7	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,1	0,0
11,1 a 12,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,1	0,0
12,1 a 13,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
13,1 a 14,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
14,1 a 15,0,	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0

- As maiores probabilidades de ΔT encontram-se na faixa de 0,1 a 3,0°C para Campos Novos, São Miguel D'Oeste, Urussanga e Videira, com 49,4, 66,7, 69,6 e 75,2% respectivamente. Em Ponte Cerrada a maior probabilidade (45,1%) é de valores de ΔT entre 2,1 e 4,0°C. Em Chapecó e São Joaquim, ΔT teve maior probabilidade entre 3,1 e 5,0°C, respectivamente com 45,7 e 30%. Finalmente, em Lages a maior frequência de valores de ΔT encontra-se entre 4,1 e 6,0°C, com 46,2% de probabilidade de ocorrer.

Agradecimentos

Os autores expressão seus agradecimentos ao CIASC/EPAGRI na pessoa do Dr. Hamilton Justino Vieira, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho.

Referências bibliográficas

- ASSIS, F.N.de, ARRUDA, H.V., PEREIRA, A.R. **Aplicações de Estatística a Climatologia - Teoria e Prática**. Pelotas : Editora Universitária/UFPel, 1996. 161 p.
- BOOTSMA, A. Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and others climatological parameters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 103-113, 1976a.
- BOOTSMA, A. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 425-443, 1976b.
- BOOTSMA, A. **Frost risk survey of Prince Edward Island**. Ottawa, Canadá : P.E.I. Department of Agriculture and Forestry, 1980. 35 p.
- CAMARGO, M.B.P., PEDRO JUNIOR, M.J., ALFONSI, R.R. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.
- FIGUEIREDO, J.C. **Previsão da temperatura do ar em superfície para a cidade de Botucatu, a partir de dados gerados por um modelo de área limitada - MAL**. Botucatu, 2000. 87 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, 2000.
- GRODZKI, L., CARAMORI, P.A., BOOSTMA, A. et al. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 213-220, 1996.
- HELDWEIN, A.B., ESTEFANEL, V., MANFRON, P.A. et al. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria, RS. I – Estimativas das temperaturas mínimas do ar a 5cm do solo relvado e solo desnudo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 3-14, 1988.
- MASSIGNAM, A.M., DITTRICH, R.S. 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.
- POLA, A.C. Probabilidade de ocorrência de geadas em Caçador, SC. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 6, p. 46-49, 1993.
- SENTELHAS, P.C., ORTOLANI, A.A., PEZZOPANE, J.R.M. Diferença de temperatura entre o abrigo meteorológico e a relva, em noites de geada, no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n.2, p. 437-445, 1995.