

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 213-220, 1998.

Recebido para publicação em 29/05/98. Aprovado em 04/08/98.

ISSN 0104-1347

ESTIMATIVA DO NÚMERO MÉDIO E DA PROBABILIDADE MENSAL DE OCORRÊNCIA DE GEADAS PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA¹

THE ESTIMATION OF MEAN NUMBER AND THE MONTHLY PROBABILITY OF OCCURRENCE OF FROST FOR SANTA CATARINA STATE, BRAZIL

Angelo Mendes Massignam² e Renato César Dittrich³

RESUMO

O objetivo do trabalho foi determinar equações que possibilitem a estimativa do número médio mensal e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas no Estado de Santa Catarina em função das coordenadas geográficas: latitude, longitude e altitude, em locais desprovidos de estações meteorológicas. Foram utilizados dados de observação visual de geadas de vinte e um locais do Estado de Santa Catarina, quatro locais do Rio Grande do Sul e quatro locais do Paraná. Os modelos probabilísticos de distribuição de frequência, distribuições de Poisson, binomial e binomial negativa, foram utilizados para determinar a probabilidade mensal de ocorrência de geadas. Os resultados mostraram que o número médio mensal e a probabilidade mensal de ocorrência de geada podem ser estimados em função da altitude.

Palavras-chave: geada, probabilidade, altitude, latitude, longitude.

SUMMARY

The purpose of this study was to determine equations that make possible the estimation of mean number and the monthly probability of occurrence of frost for Santa Catarina State in function of altitude,

¹ Trabalho desenvolvido com recursos financeiro do FEPA e do Projeto Microbacias - BIRD e EPAGRI.

² Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agrometeorologia, EPAGRI, EECN. CP. 116, Fone/Fax (049) 541-0748. 89.620-000 — Campos Novos — SC. Email: massigna@epagri.rct-sc.br

³ Engenheiro Agrônomo, Mestre em Estatística e Métodos Quantitativos, EPAGRI, SEDE, Fone (048) 234-0066, Fax (048) 234-1024. 88.034-901 — Florianópolis — SC.

latitude and longitude, for place without meteorological station. Data of visual frost from twenty-one places of Santa Catarina State, four places of Rio Grande do Sul State and four locals of Paraná State were used. The probabilistic models, Poisson distribution, binomial distribution and negative binomial distribution were utilized to determine the monthly probability of occurrence of frost. The monthly number and the monthly probability of occurrence of frost can be estimated in function of altitude.

Key words: frost, probability, altitude, latitude, longitude.

INTRODUÇÃO

O estudo da ocorrência de geada, com reflexos sobre as plantas cultivadas, é de interesse das regiões situadas no sul do Brasil, de modo geral acima do paralelo de 20 graus. A caracterização do regime de geadas é de grande aplicabilidade na orientação de extensionistas, agricultores e órgãos governamentais para subsidiar tomadas de decisão e o planejamento agropecuário (GRODZKI et al., 1996).

Geada é uma condição de ocorrência provisória, de estados de baixa energia. Esse evento caracteriza alterações físicas nos componentes celulares dos tecidos vegetais, incompatível com suas funções fisiológicas (OMETTO, 1981). A ocorrência desse estado de baixa energia resulta de alguns condicionamentos especiais, os quais pode-se dizer que são fatores físicos do meio ambiente, tais como: grau de nebulosidade, velocidade do vento, grau de exposição a céu descoberto, densidade de ar frio, poder emissivo dos diversos corpos e condutividade calorífica.

A deficiência de estações meteorológicas com séries longas e também a falta de estações nos Estados brasileiros levou vários autores a desenvolverem equações de regressão para a estimativa de algumas variáveis meteorológicas. No Estado do Maranhão, LEITE (1978), relacionaram temperaturas médias, máximas e mínimas com latitude, longitude e altitude. LUIZ & SILVA (1995) desenvolveram modelos de regressão linear múltipla para estimar as temperaturas decendiais máxima, mínima e média em função da latitude e altitude para o Estado de Goiás. No Estado de Minas Gerais, COELHO et al. (1973), correlacionaram temperaturas médias mensais e anual do ar à sombra com os fatores geográficos altitude e latitude. No Estado de São Paulo, PINTO et al. (1972) estimaram as temperaturas médias mensais em função da altitude e latitude, PEDRO JÚNIOR et al. (1977), estimaram os graus-dia em função de altitude e latitude e PEDRO JÚNIOR et al. (1991) estimaram as temperaturas médias mensais das máximas e das mínimas em função da latitude e altitude. No Estado do Paraná, PINTO & ALFONSI

(1974) estimaram as temperaturas médias, máximas e mínimas mensais em função da altitude e latitude. No Estado de Santa Catarina, BURIOL et al. (1974), ESTEFANEL et al. (1974), FERREIRA et al. (1974) e BRAGA et al. (1987), relacionaram temperaturas médias, máximas e mínimas com latitude, longitude e altitude. No Estado do Rio Grande do Sul, FERREIRA et al. (1971) estimaram as temperaturas médias mensais e anuais em função da altitude e latitude.

O objetivo deste trabalho foi determinar equações que possibilitem a estimativa do número médio mensal e da probabilidade mensal de ocorrência de geadas no Estado de Santa Catarina em função das coordenadas geográficas: latitude, longitude e altitude, em locais desprovidos de estações meteorológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados mensais da observação visual de geada de vinte e um locais do Estado de Santa Catarina, quatro locais do Rio Grande do Sul e quatro locais do Paraná (Tabela 1), provenientes de séries históricas de períodos não uniformes, com no mínimo 12 anos de registros nos meses de abril a outubro. Os dados de estações de outros Estados foram usados em virtude de as mesmas se localizarem próximas do Estado de Santa Catarina. Regiões no Estado de Santa Catarina com cotas altimétricas maior que 900m podem ocorrer geadas também nos meses de março e novembro, porém, isto não foi estudado devido ao baixo número de estações com dados nestes meses.

Os dados meteorológicos utilizados para a execução deste trabalho foram obtidos das estações meteorológicas da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A - EPAGRI; do 8º Distrito de Meteorologia, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET; do Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR e da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul - FEPAGRO.

Os modelos probabilísticos de distribuição de frequência, distribuição de Poisson, Binomial e Binomial negativa, foram utilizados para a determinação da probabilidade mensal de ocorrência de geadas dos meses de abril a outubro, para os 29 locais, isto é, a probabilidade de ocorrer pelo menos uma geada durante o mês. Os seguintes critérios foram usados para a escolha de um dos três modelos probabilístico: i) distribuição binomial quando a variância (s^2) foi menor que a média (\bar{x}), ii) distribuição de Poisson quando a variância (s^2) foi igual à média (\bar{x}) (ASSIS et al., 1996), iii) distribuição binomial negativa quando a variância (s^2) foi maior que a média (\bar{x}) (ASSIS et al., 1996).

Para verificar o grau de ajustamento das distribuições teóricas (binomial, Poisson e binomial negativa), foi aplicado o teste não-paramétrico Kolmogorov-Smirnov.

Para determinar o conjunto das variáveis independentes (altitude, latitude e longitude) que melhor explicam as variáveis dependentes (número médio mensal e probabilidade mensal de ocorrência de geada, calculada através dos modelos probabilísticos) foi aplicado o método de regressão “Stepwise” (regressão passo a passo) com probabilidade de erro α igual a 0,05 para a variável entrar ou sair do modelo, segundo a expressão geral:

$$num_i = a + b (alt) + c (lon) + d (lat) \quad (1)$$

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

onde: num é o número médio mensal de geada, $prob$ é a probabilidade mensal de ocorrência de geada, i é o mês, variando de 4 a 10 (abril a outubro), alt é a altitude, lon é a longitude, lat é a latitude e a, b, c e d são os parâmetros do modelo.

Foram estudados modelos lineares e vários modelos não lineares para o ajustamento do número médio mensal e da probabilidade mensal de ocorrência de geada em função da variável altitude. O critério para selecionar um modelo utilizado foi, a priori, o conhecimento do fenômeno físico da geada em função da altitude e o coeficiente de determinação (r^2). Foram selecionados os seguintes modelos, cujas expressões matemáticas são apresentadas a seguir:

-modelo linear

$$num_i = a + b (alt) \quad (3)$$

$$prob_i = a + b(alt) \quad (4)$$

-modelo exponencial

$$num_i = a (alt)^b \quad (5)$$

$$prob_i = a (alt)^b \quad (6)$$

-modelo monomolecular

$$prob_i = 1 - (1 - a) \text{Exp} [-b (alt)] \quad (7)$$

Foram eliminados alguns valores de probabilidade de geadas nos meses de maio, junho e agosto, por apresentar valores muito discrepantes.

Tabela 1. Local, coordenadas geográficas das estações meteorológicas e número de anos das séries históricas utilizadas.

| Local | Estado | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Nº de anos |
|-------------------|--------|--------------|---------------|--------------|------------|
| Araranguá | SC | 28°53' | 49°31' | 12,3 | 23 |
| Blumenau | SC | 26°55' | 49°03' | 13,8 | 18 |
| Brusque | SC | 27°06' | 48°56' | 46,3 | 15 |
| Caçador | SC | 26°46' | 51°00' | 960,0 | 32 |
| Camboriú | SC | 27°00' | 48°38' | 9,0 | 26 |
| Campo Alegre | SC | 26°08' | 49°15' | 819,0 | 16 |
| Campos Novos | SC | 27°24' | 51°12' | 946,7 | 30 |
| Chapecó | SC | 27°07' | 52°37' | 679,0 | 20 |
| Curitibanos | SC | 27°17' | 50°34' | 1040,0 | 13 |
| Erexim | RS | 27°08' | 52°45' | 760,0 | 24 |
| Florianópolis | SC | 27°35' | 48°34' | 1,8 | 42 |
| Francisco Beltrão | PR | 26°05' | 53°04' | 650,0 | 22 |
| Indaial | SC | 26°54' | 49°13' | 86,1 | 14 |
| Ireneópolis | SC | 26°15' | 50°48' | 777,0 | 31 |
| Itá | SC | 27°18' | 52°02' | 386,8 | 12 |
| Lages | SC | 27°49' | 50°02' | 937,0 | 44 |
| Laguna | SC | 28°29' | 48°48' | 30,9 | 32 |
| Orleans | SC | 28°02' | 49°02' | 155,0 | 32 |
| Palmas | PR | 2629' | 51°59' | 1100,0 | 17 |
| Passo Fundo | RS | 28°15' | 52°24' | 676,1 | 18 |
| Pato Branco | PR | 26°07' | 52°41' | 700,0 | 16 |
| Planalto | PR | 25°42' | 53°47' | 400,0 | 22 |
| Porto União | SC | 26°14' | 51°04' | 797,4 | 30 |
| Santa Rosa | RS | 27°51' | 54°25' | 360,0 | 16 |
| São Joaquim | SC | 28°18' | 49°56' | 1415,0 | 35 |
| Timbó | SC | 26°49' | 49°16' | 70,0 | 15 |
| Vacaria | RS | 28°33' | 50°42' | 960,0 | 23 |
| Videira | SC | 27°00' | 51°09' | 779,1 | 20 |
| Xanxeré | SC | 26°51' | 52°24' | 841,2 | 43 |

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram ajustada 203 distribuição de frequência do número de dias com geadas aos modelos probabilísticos teóricos (distribuições de Poisson, Binomial e Binomial negativa) para determinar a probabilidade mensal de ocorrência de geada. Um exemplo destes ajustes é apresentado na Figura 1. Não houve diferença significativa entre os valores observados e os estimados para cada mês e para cada estação meteorológica, através do teste Kolmogorov-Smirnov.

O número médio e a probabilidade mensal de ocorrência de geada no Estado de Santa Catarina variaram com o local e com o mês. Os meses de junho e julho apresentaram maior número médio e probabilidade de ocorrência de geada.

O método de regressão “Stepwise” selecionou a variável altitude como significativa nos 14 modelos, a variável longitude foi significativa somente em dois modelos e a variável latitude foi significativa somente em um modelo (Tabela 2). Analisando os coeficientes de determinação parciais da regressão “Stepwise”, observa-se que as variações do número médio mensal de geada foram devido às variações da altitude e as variações da probabilidade mensal de ocorrência de geada foram, em sua maior parte, também devido às variações da altitude. Assim, com o aumento da altitude, tem-se um aumento do número médio e da probabilidade mensal de ocorrência de geada. Em estudo de risco de ocorrência de geada em oito locais no Estado do Paraná, GRODZKI et al. (1996) verificaram que as grandes diferenças quanto ao número de geadas ocorridas foram em função da altitude e, em segundo plano, da latitude e condições locais.

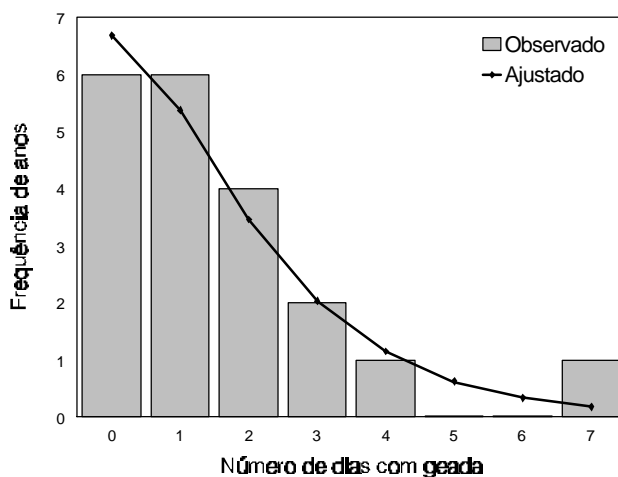


Figura 1. Histograma de frequência do número de dias com geada do mês de agosto para Chapecó - SC.

Tabela 2. Coeficiente de determinação parcial e total resultantes da análise de regressão “Stepwise” entre o número médio e a probabilidade mensal de ocorrência de geada e as coordenadas geográficas.

| Variável dependente | Mês | r ² parcial | | | r ² total |
|---|------|-------------------------|-----------|----------|----------------------|
| | | Variáveis independentes | | | |
| | | Altitude | Longitude | Latitude | |
| Número médio mensal de geada | Abr | 0,5343 | | | 0,5343 |
| | Maio | 0,6704 | | | 0,6704 |
| | Jun | 0,6883 | | | 0,6883 |
| | Jul | 0,7979 | | | 0,7979 |
| | Ago | 0,7768 | | | 0,7768 |
| | Set | 0,6254 | | | 0,6254 |
| | Out | 0,5335 | | | 0,5335 |
| Probabilidade mensal de ocorrência de geada | Abr | 0,7137 | | 0,0427 | 0,7564 |
| | Maio | 0,7598 | | | 0,7598 |
| | Jun | 0,6280 | 0,0718 | | 0,6998 |
| | Jul | 0,7421 | 0,0506 | | 0,7927 |
| | Ago | 0,8295 | | | 0,8295 |
| | Set | 0,7142 | | | 0,7142 |
| | Out | 0,5293 | | | 0,5293 |

O número médio de geada nos meses de abril, setembro e outubro ajustou-se melhor ao modelo exponencial e nos meses de maio, junho, julho e agosto ajustou-se melhor ao modelo linear (Figura 2).

A probabilidade de ocorrência de geada nos meses de abril e outubro ajustou-se melhor ao modelo exponencial e nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro ajustou-se melhor ao modelo monomolecular, o qual apresenta uma grande vantagem, em relação aos demais testados, pois aproximou-se assintoticamente da probabilidade máxima (1,00) (Figura 3).

Os coeficientes de determinação dos modelos para estimativa do número médio mensal de geada e para probabilidade mensal de ocorrência de geada em função da altitude foram de médios a altos (Tabela 3

e 4). Os meses de abril e outubro apresentaram os menores coeficientes de determinação fruto da maior variabilidade dos dados.

O número médio mensal de geada e a probabilidade mensal de ocorrência de geada estimados com base nas equações apresentadas, poderão ser utilizados nas regiões do Estado de Santa Catarina carentes de informações meteorológicas, necessitando apenas da altitude do respectivo local.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

1. As variações do número médio mensal e a da probabilidade mensal de ocorrência de geada no Estado de Santa Catarina são, em sua maior parte, devido às variações da altitude.
- 2 O número médio mensal e a probabilidade mensal de ocorrência de geada podem ser estimados, para as regiões do Estado de Santa Catarina carentes de informações meteorológicas, com base na altitude.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o fornecimento dos dados do número médio de geada por parte da Seção de Agrometeorologia da Fundação de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT)/RS e da Seção de Climatologia do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

Tabela 3. Equações de regressão para estimativa do número médio mensal de geada em função da altitude e respectivos coeficiente de determinação.

| Mês | Equação de regressão | n | r ² |
|---------------------|--|----|----------------|
| Abril | $num_4 = 1,3792 (10^{-5}) alt^{1,5773382}$ | 29 | 0,5639 |
| Maio ⁽¹⁾ | $num_5 = -0,008894 + 0,00335445 alt$ | 29 | 0,6704 |
| Junho | $num_6 = 0,409169 + 0,00405352 alt$ | 29 | 0,6883 |
| Julho | $num_7 = 0,465834 + 0,00409563 alt$ | 29 | 0,7979 |
| Agosto | $num_8 = 0,144043 + 0,00291243 alt$ | 29 | 0,7768 |
| Setembro | $num_9 = 2,74188 (10^{-4}) alt^{1,25754345}$ | 29 | 0,6829 |
| Outubro | $num_{10} = 3,38 (10^{-8}) alt^{2,04394365}$ | 29 | 0,6135 |

⁽¹⁾Quando a altitude do local for menor que 2,5m o número médio mensal de geada estimado será igual a zero.

Tabela 4. Equações de regressão para estimativa da probabilidade mensal de ocorrência de geada em função da altitude e respectivos coeficiente de determinação.

| Mês | Equação de regressão | n | r ² |
|----------|--|----|----------------|
| Abril | $prob_4 = 1,0781 (10^{-5}) alt^{1,505029}$ | 29 | 0,7530 |
| Maio | $prob_5 = 1 - (1 - 0,027837) Exp(-0,001521 alt)$ | 27 | 0,8482 |
| Junho | $prob_6 = 1 - (1 - 0,221338) Exp(-0,002598 alt)$ | 28 | 0,7971 |
| Julho | $prob_7 = 1 - (1 - 0,237029) Exp(-0,002092 alt)$ | 29 | 0,8130 |
| Agosto | $prob_8 = 1 - (1 - 0,123361) Exp(-0,001766 alt)$ | 28 | 0,9045 |
| Setembro | $prob_9 = 1 - (1 - 0,026308) Exp(-0,000974 alt)$ | 29 | 0,7776 |
| Outubro | $prob_{10} = 1,321 (10^{-6}) alt^{1,780998}$ | 29 | 0,5862 |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F.N. de, ARRUDA, H.V. de, PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas : Ed. Universitária/UFPEL, 1996. 161 p.
- 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. 44 p. (EMPASC, Documentos, 86).
- BURIOL, G.A., FERREIRA, M., ESTEFANEL, V., et al. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 4, n. 3, p. 81-102, 1974.
- COELHO, D.T., SEDIYAMA, G., VIEIRA, M. Estimativa das temperaturas médias e anuais no Estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 112, p. 455-459, 1973.
- ESTEFANEL, V., BURIOL, G.A., FERREIRA, M. et al. Estimativa das médias das temperaturas mínimas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 4, n. 3, p. 195-216, 1974.
- FERREIRA, M., BURIOL, G.A., ESTEFANEL, V. 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., BURIOL, G.A., PIGNATARO, I.A.B. 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.
- GRODZKI, L., CARAMORI, P.H., BOOTSMA, A. et al. Risco de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1 p. 93-99, 1996.
- LEITE, A. de C. **Normais de temperaturas máximas, médias e mínimas estimadas em função das latitudes, longitude e altitude para o Estado do Maranhão**. São Luís : Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária, 1978. 18 p. (EMAPA, Boletim Técnico, 1).
- LUIZ, A.J.B., SILVA, F.A.M. da Temperaturas decendiais máximas, mínimas e medias, como função da latitude e altitude, em Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9. 1995,

Campina Grande. **Anais...**, Campina Grande : Universidade Federal da Paraíba, 1995. 500 p. p. 234-235.

PEDRO JÚNIOR, M., BRUNINI, O, ALFONSI, R.R. et al. Estimativa de graus-dia em função de altitude e latitude para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 5, p. 89-92, 1977.

PEDRO JÚNIOR, M., MELLO, M.H. de A., ORTOLANI, A.A. et al. **Estimativa das temperaturas médias, das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo**. Campinas : Instituto Agrônômico, 1991. 9 p. (IAC, Boletim Técnico, 142).

PINTO, H.S., ORTOLANI, A.A., ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função da altitude e latitude**. São Paulo : Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1972. 20 p. (Caderno de Ciência da Terra, 23).

PINTO, H.S., ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais do Estado do Paraná, em função da altitude e latitude**. São Paulo : Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1974. 28 p. (Caderno de Ciência da Terra, 52).

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo : Ceres, 1981. 440 p.