

COMPARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE E ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO PROVÁVEL PARA REGIÃO DE BARBACENA, MG

Comparation of probability distribution models and estimative of the probable rainfall for the Barbacena County, MG

Bruno Teixeira Ribeiro¹, Junior Cesar Avanzi², Carlos Rogério de Mello³,
José Maria de Lima⁴, Marx Leandro Naves Silva⁴

RESUMO

Estudos probabilísticos envolvendo variáveis climáticas são de extrema importância para as atividades da agropecuária, construção civil, turismo, transporte, dentre outros. Visando contribuir para o planejamento da agricultura irrigada, este trabalho teve como objetivos comparar distribuições de probabilidade ajustadas às séries históricas decendiais e mensais, e estimar as precipitações prováveis para o município de Barbacena, MG. Foram estudados os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no período de 1942 a 2003, constituindo-se séries históricas com 62 anos de observações. As lâminas diárias foram totalizadas em períodos mensais e decendiais, sendo aplicadas as distribuições log-Normal 2 parâmetros, log-Normal 3 parâmetros e Gama. Para avaliar a adequabilidade das distribuições, nos períodos estudados, utilizou-se o teste de Qui-quadrado (χ^2), ao nível de 5% de significância. As precipitações prováveis foram estimadas para cada período estudado utilizando a distribuição que apresentou o menor valor de χ^2 , nos níveis de probabilidade de excedência de 75, 90 e 98%. A distribuição Gama foi a que melhor se ajustou aos dados. O estudo de precipitações prováveis é uma boa ferramenta no auxílio da tomada de decisão quanto ao planejamento e uso da irrigação.

Termos para indexação: Distribuição Gama, irrigação, planejamento agrícola, chuva.

ABSTRACT

Probabilistic studies involving climatic variables are of extreme importance for farming activities, construction, tourism, among others. Seeking to contribute for the planning of irrigate agriculture, this work had as objectives to compare adjusted probability distribution models to the monthly and decennial historical series and to estimate the probable rainfall for the Barbacena County, Minas Gerais State, Brazil. Rainfall data of December, January and February, from 1942 to 2003, were studied, constituting historical series with 62 years of observations. Daily rainfall depths were added for 10 and 30 days, applying Gama, log-Normal 2 and log-Normal 3 parameters probability distribution models. Probability distributions models, were compared with Qui-square statistical test, at 5% significance level. Probable rainfall was estimated for each period, using the best distribution, which was evaluated based on the smallest Qui-square value, for the probability occurrence levels of 75, 90 and 98%. Gama probability distribution was the most adequate model.

Index terms: Gama Probability Distribution Model, irrigation, agricultural planning, rainfall.

(Recebido em 4 de outubro de 2005 e aprovado em 12 de julho de 2006)

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna é caracterizada pela utilização crescente de novas tecnologias em todas as fases da produção agrícola. Entretanto, tais tecnologias devem ser utilizadas de forma racional para que se justifique o seu investimento. A irrigação é uma das tecnologias que garante altas produtividades e qualidade dos produtos agrícolas. De maneira geral, os projetos de irrigação são dimensionados visando suprir todas as necessidades hídricas da planta, sem levar em conta a parcela provável

de precipitação. Isto pode conduzir ao superdimensionamento do sistema, onerando-o e, muitas vezes, desestimulando o investimento pelo agricultor (CASTRO NETO & SILVEIRA, 1981a).

A região de Barbacena é considerada como um grande centro da fruticultura e floricultura, apresentando também outras atividades agropecuárias, como, olericultura, produção de grãos e pastagens. Durante os meses de novembro a março, que corresponde ao período de safra das principais culturas anuais da região, pode ocorrer veranicos e necessidade de irrigação. Segundo Peron &

¹Agrônomo, doutorando do curso de Solos e Nutrição de Plantas – Departamento de Ciência do Solo/DCS – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Bolsista CNPq – ribeiro.bt@gmail.com

²Engenheiro Agrícola, doutorando do curso de Solos e Nutrição de Plantas – Departamento de Ciência do Solo/DCS – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – Bolsista da CAPES – javanzi@yahoo.com.br

³Professor, DS, Departamento de Engenharia/DEG – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – crmello@ufla.br

⁴Professores, DS, Departamento de Ciência do Solo/DCS – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – jmlima@ufla.br; marx@ufla.br

Castro Neto (1986), pode-se esperar a ocorrência de, pelo menos, um veranico com duração de uma semana no período chuvoso, para região de Lavras, MG, localidade com as mesmas características climáticas da região de Barbacena.

Estudos probabilísticos de variáveis climáticas são de extrema importância para o planejamento de atividades de irrigação, entre outras atividades da agropecuária, construção civil, turismo e transporte. No Brasil existem vários trabalhos dessa natureza, contudo, ainda são raros estudos comparativos de distribuições de probabilidade, especialmente aplicados ao estudo de chuva provável. Tais estudos podem contribuir, de forma mais efetiva, para o planejamento da irrigação complementar, especialmente em regiões onde a agricultura irrigada tem crescido de forma considerável ou apresenta potencial de crescimento.

Precipitação provável é definida como sendo a precipitação mínima, associada a uma probabilidade específica de ocorrência (BERNARDO et al., 2005). Várias distribuições de probabilidade têm sido utilizadas para o estudo de precipitações prováveis, sendo sua adequabilidade função da série histórica e do período analisado. Quando se estudam períodos de um mês, ou menores, a distribuição Gama tem sido consideravelmente aplicada (CASTRONETO & SILVEIRA, 1981a). No entanto, Villela & Mattos (1975) relatam que a distribuição log-Normal tem se adequado bem à distribuição das precipitações no Brasil. Esta observação também foi feita por Sampaio et al. (1999), estudando a precipitação provável para o município de Lavras, MG.

Com o presente trabalho, objetivou-se comparar distribuições de probabilidade aplicadas às séries históricas de precipitações decendiais e mensais, e estimar as respectivas precipitações prováveis em diferentes níveis de probabilidade, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, para a região de Barbacena, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados de precipitação diária obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA/HIDROWEB), no posto meteorológico da cidade de Barbacena, Minas Gerais, localizado na região da Serra da Mantiqueira, geograficamente situada entre as coordenadas 21°07' a 21°15' S e 43°45' a 43° 52' W de Greenwich (MIRANDA & COUTINHO, 2005), e altitude de 1.126 m. O clima é do tipo Cwa (Classificação de Köppen), temperado quente (mesotérmico), com temperatura média anual 18° C e precipitação anual média de 1.436 mm (BRASIL, 1992).

Foram estudados os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no período de 1942 a 2003, resultando em séries históricas com 62 anos de observações. As lâminas diárias foram totalizadas em períodos mensais e decendiais, sendo aplicadas às distribuições log-Normal 2 parâmetros, log-Normal 3 parâmetros e Gama.

Distribuição log-Normal 2 parâmetros

A distribuição log-Normal 2 parâmetros é descrita pela Função Densidade de Probabilidade (FDP), da seguinte forma (LANNA, 2001):

$$FDP : f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x) - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}\right) \quad (1)$$

em que μ_n e σ_n são os parâmetros da distribuição, correspondendo a média e o desvio padrão dos logaritmos das informações.

A equação base para estudos hidrológicos, utilizando-se a distribuição log-Normal 2 parâmetros, é adaptada da equação geral de Ven te Chow (HAAN, 1979):

$$X_{TR} = e^{\mu_n + \sigma_n \cdot K_{TR}} \quad (2)$$

em que X_{TR} é o valor da variável hidrológica (precipitação), associada a um tempo de recorrência (TR) e K_{TR} , a variável reduzida, que no caso desta distribuição, corresponde aos valores de z da tabela de mesmo nome.

Distribuição log-Normal 3 parâmetros

A distribuição log-Normal 3 parâmetros tem sua Função Densidade de Probabilidade (FDP) representada pela seguinte equação:

$$FDP : f(x) = \frac{1}{(x - \beta) \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \left(\frac{\ln(x - \beta) - \mu_n}{\sigma_n}\right)^2} \quad (3)$$

com $x > \beta$

Os parâmetros da FDP podem ser estimados pelas seguintes equações (LANNA, 2001):

$$\beta = \mu_n - \frac{\sigma_n}{\eta_y} \quad (4)$$

$$\eta_y = \frac{(1 - \phi^{2/3})}{\phi^{1/3}} \quad (5)$$

$$\phi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0.5}]}{2} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{S^3} \quad (7)$$

Primeiramente, calcula-se o γ (equação 7), que diz respeito à assimetria desta distribuição. Com isto, estima-se ϕ pela equação 6, η_y com a equação 5 e, com base neste último valor e na média (μ_n) e desvio padrão (σ_n) dos dados transformados em logaritmos, o parâmetro β é estimado pela equação 4.

Neste caso, a equação base para estudos hidrológicos, utilizando-se a distribuição log-Normal 3 parâmetros, é dada por (HAAN, 1979):

$$X_{TR} = e^{\mu_n + K_{TR} \cdot \sigma_n} + \beta \quad (8)$$

Distribuição Gama

A distribuição Gama é definida, segundo Lanna (2001) pela integral:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx, \alpha > 0 \quad (9)$$

$$P(\alpha, x) = \int_0^x x^{(\alpha-1)} e^{-x} dx \quad (10)$$

$$P(\alpha, x) = \int_0^x x^{(\alpha-1)} e^{-x/\beta} dx \quad (11)$$

A sua função de densidade de probabilidade (FDP) pode ser expressa da seguinte forma (BOTELHO, 1989):

$$FDP: f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta}, 0 < x < \infty \quad (12)$$

com $\nu > 0, \beta > 0, \Gamma(\nu) > 0$, em que ν é o parâmetro de forma adimensional, β é o parâmetro de escala e x a variável aleatória (precipitação).

Os parâmetros ν e β podem ser estimados por:

$$\nu = \frac{-2}{\frac{\bar{x}}{S_x^2}} \quad (13)$$

$$\beta = \frac{S_x^2}{\bar{x}} \quad (14)$$

em que \bar{x} é a média aritmética dos dados da série e S_x é o desvio padrão dos dados da série.

Considerou-se que a chuva foi igual a 1 mm nos períodos de precipitação nula.

Para avaliar a adequabilidade das distribuições, em todos os períodos estudados, utilizou-se o teste de χ^2 (Qui-Quadrado), ao nível de 5% de significância, considerando-se como graus de liberdade o número de classes -1 (FERREIRA, 2005).

As precipitações prováveis foram estimadas para cada período utilizando a distribuição que apresentou o menor valor de χ^2 , nos níveis de probabilidade de excedência de 75, 90 e 98%, correspondendo, respectivamente, aos períodos de retorno de 4, 10 e 50 anos. A distribuição que apresentou o menor valor de χ^2 foi considerada mais precisa, de acordo com Walpole & Myers (1978). As precipitações prováveis mensais foram comparadas às evapotranspirações das culturas de milho, feijão e tomate, no seu período crítico de desenvolvimento, sendo os dados de evapotranspiração de referência obtidos em Embrapa (1985) e os coeficientes de cultura em Doorenbos & Kassam (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentado o teste de adequabilidade (Qui-Quadrado - χ^2), para as distribuições de probabilidade estudadas em cada período. De maneira geral, a distribuição Gama foi a que propiciou melhor adequação dos dados de precipitação, com 92% das séries históricas, seguido da distribuição log-Normal 3 parâmetros com 83% e por último a distribuição log-Normal 2 parâmetros com apenas 42% das séries históricas. A distribuição Gama tem sido considerada a mais apropriada quando se estudam períodos de um mês ou menos

(CASTRO NETO & SILVEIRA, 1981ab, 1983; FRIZZONE, 1979; JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2004).

Considerando o menor valor de χ^2 entre as distribuições, independente do período analisado, observa-se que, para o mês de dezembro, a distribuição log-Normal 3 parâmetros permitiu o melhor ajuste, e para o mês de fevereiro, a distribuição Gama. Já para o mês de janeiro, as melhores distribuições foram log-Normal 3 parâmetros e Gama, dependendo do período analisado.

Analisando apenas os períodos mensais, verifica-se que todas as distribuições foram adequadas (Tabela 1). Para os períodos decendiais, observa-se que no 1º decêndio de todos os meses analisados, apenas a distribuição log-Normal 2 parâmetros não se ajustou adequadamente. No 2º decêndio, as distribuições que não se adequaram foram a log-Normal 2 parâmetros em janeiro e fevereiro e a distribuição Gama em janeiro. Já para o 3º decêndio, as distribuições que não se adequaram foram a log-Normal 2 e 3 parâmetros nos meses de janeiro e fevereiro.

Nas Figuras 1 e 2 encontram-se, respectivamente, as precipitações prováveis decendiais e mensais associadas aos níveis de probabilidade de 75, 90 e 98%. A precipitação provável sugere um estudo probabilístico de valores mínimos a serem garantidos. Observa-se que o aumento no nível de probabilidade proporcionou uma menor lâmina provável, pois o aumento na confiabilidade da estimativa implica na redução do valor estimado.

De acordo com Bernardo et al. (2005), quando se estuda a precipitação provável para fins agrícolas, o nível de probabilidade mais recomendado é de 75%, ou seja, uma lâmina mínima a ser garantida para um determinado período em três a cada quatro anos. Considerando este nível de probabilidade, observa-se na Figura 2 que a precipitação provável supera a evapotranspiração das culturas analisadas, exceto no mês de fevereiro.

No mês de dezembro, com 90% de probabilidade de ocorrência, é esperada uma lâmina de 148 mm (Figura 2), superando a evapotranspiração da cultura do tomateiro (143 mm), a mais exigente entre as culturas analisadas. Com 98% de probabilidade é esperada uma lâmina de 91 mm o que seria capaz de suprir em 66, 76 e 64% a demanda hídrica das culturas do milho, feijão e tomate, respectivamente. Isto pode levar a uma redução dos custos de implantação de um sistema de irrigação e da quantidade de água utilizada pelo mesmo.

Para janeiro é esperada uma lâmina de 129 mm (90% de probabilidade), atendendo à demanda hídrica das culturas do milho, feijão e tomate em 73, 83 e 70%, respectivamente. No nível de 98% de probabilidade, a lâmina provável (53 mm) atenderia, em média, 31% da demanda hídrica das culturas neste mês.

Já para o mês de fevereiro, a lâmina provável, com 75% de probabilidade de ocorrência (121 mm), atenderia totalmente a demanda hídrica da cultura do feijão (121 mm), suprimindo em 88 e 84% as culturas do milho e tomate, respectivamente. Para os níveis de 90 e 98% de probabilidade, a lâmina provável atenderia, em média, a demanda hídrica entre as culturas analisadas, em 61 e 33%, respectivamente.

Este estudo demonstra que a implantação de sistemas de irrigação na região pode ser necessária na forma complementar. O uso de valores de probabilidade de ocorrência de precipitações naturais em projetos de irrigação, além de diminuir os custos do sistema, pode reduzir as vazões outorgáveis, facilitando a aprovação destes projetos junto aos órgãos ambientais. Ressalta-se que a existência de sistemas de irrigação é importante, devido aos períodos de veranico comuns na região e as instabilidades inerentes do regime hídrico nas regiões tropicais.

TABELA 1 – Valores de Qui-Quadrado - χ^2 para as distribuições Log-Normal 2 parâmetros, Log-Normal 3 parâmetros e Gama para períodos decendiais e mensais, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, na região de Barbacena, MG.

Período	Dezembro			Janeiro			Fevereiro		
	Log 2P	Log 3P	Gama	Log 2P	Log 3P	Gama	Log 2P	Log 3P	Gama
1º decêndio	50,28 ^{NA}	4,42^A	5,27 ^A	12,07 ^{NA}	1,95 ^A	1,50^A	27,66 ^{NA}	8,98 ^A	4,73^A
2º decêndio	3,17 ^A	2,24^A	2,94 ^A	14,23 ^{NA}	10,89^A	14,31 ^{NA}	25,26 ^{NA}	7,09 ^A	2,71^A
3º decêndio	5,14 ^A	1,25^A	2,53 ^A	33,26 ^{NA}	17,33 ^{NA}	10,89^A	46,96 ^{NA}	19,01 ^{NA}	8,71^A
Mensal	6,94 ^A	2,97^A	3,96 ^A	2,13 ^A	0,94^A	1,09 ^A	5,32 ^A	2,93 ^A	2,58^A

NA: Valores de χ^2 maiores que χ^2 tabelado ($\alpha = 0,05$) – distribuição não adequada; A: Valores de χ^2 menores que χ^2 tabelado ($\alpha = 0,05$) – distribuição adequada.

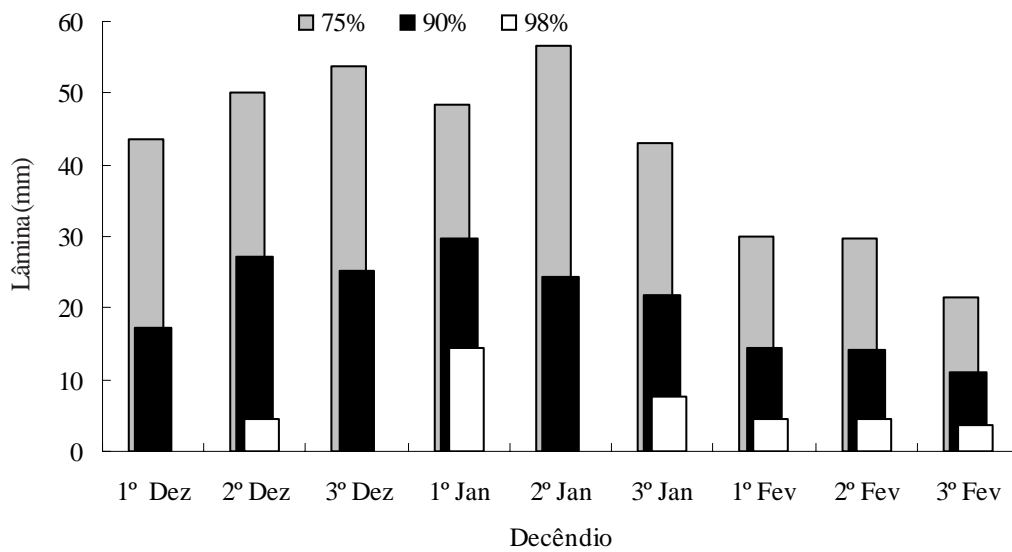


FIGURA 1 – Chuva provável para a região de Barbacena, MG, para períodos decendiais, com níveis de probabilidade de 75, 90 e 98%, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, para região de Barbacena, MG.

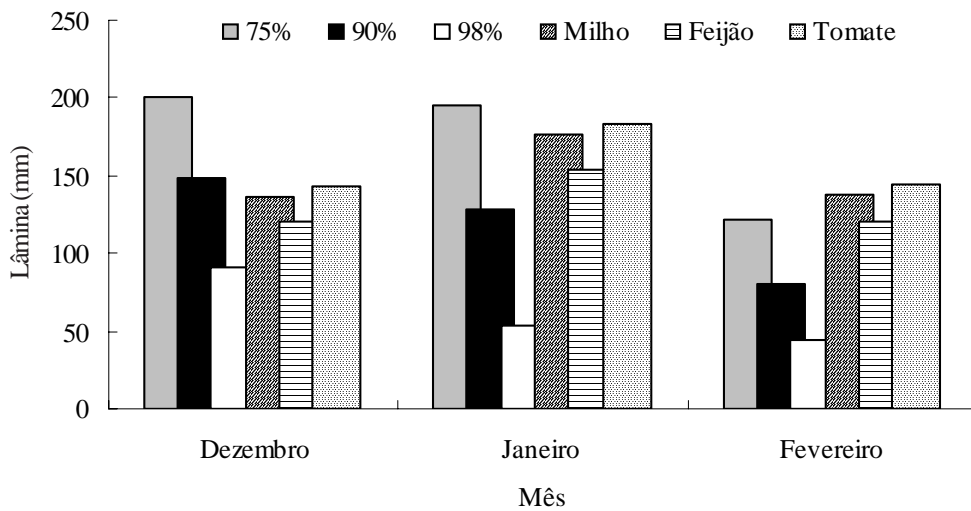


FIGURA 2 – Chuva provável com níveis de probabilidade de 75, 90 e 98% e evapotranspiração das culturas de milho, feijão e tomate, para períodos mensais para região de Barbacena, MG.

CONCLUSÕES

a) a distribuição Gama foi a que melhor se ajustou aos dados.

b) as precipitações prováveis com 75% de probabilidade de ocorrência superaram a evapotranspiração das culturas analisadas, exceto para o mês de fevereiro. Com 90% de probabilidade as lâminas prováveis atendem boa parte da demanda hídrica das culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.
- BOTELHO, V. A. **Ajuste da distribuição de probabilidade gama aos dados de precipitação para a região de Lavras, MG**. 1989. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Irrigação-Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84 p.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras, região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama I: períodos mensais. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 144-151, 1981a.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras, região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama II: períodos de quinze dias. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 152-162, 1981b.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J. V. Precipitação provável para Lavras-MG, baseada na função de distribuição de probabilidade gama III: períodos de 10 dias. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 58-65, 1983.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de H. R. Gheyi e A. A. Souza. João Pessoa: UFPB, 1994. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A deficiência da precipitação e a evapotranspiração potencial do Brasil**: um resumo dos dados climáticos preliminares armazenados no banco de dados de estudos de recursos das terras da Embrapa – CPAC. Brasília, DF, 1985. 94 p. (Documentos, 12).
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.
- FRIZZONE, J. A. **Análise de cinco modelos para cálculo da distribuição de precipitação na região de Viçosa - MG**. 1979. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.
- HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: The Iowa State University, 1979. 377 p.
- JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Precipitação provável para a região alto Rio Grande: comparação de modelos de probabilidade. In: CONGRESSO DOS PÓS-GRADUANDOS DA UFLA, 13., 2004, Lavras. **Anais...** Lavras: APG/UFLA, 2004. p. 36-42.
- LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2001. p. 79-176.
- MIRANDA, E. E.; COUTINHO, A. C. (Coords.). **Brasil visto do espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 16 ago. 2005.
- PERON, A. J.; CASTRO NETO, P. Probabilidade de ocorrência de veranicos na região de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1986.
- SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; SOUZA, M. R.; GUIMARÃES, J. C.; SILVA, A. M. Precipitação provável para o município de Lavras-MG, utilizando a distribuição Log-normal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 382-389, 1999.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 250 p.
- WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H. **Probability and statistics for engineers and scientists**. New York: Macmillan, 1978. 580 p.