

PRECIPITAÇÃO MENSAL PROVÁVEL DO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG

Jéssica Silva Alvarenga¹, Michael Silveira Thebaldi², Letícia Resende Fernandes³

RESUMO

A precipitação provável pode ser definida como a lâmina mínima de precipitação esperada para uma região, associada a um nível de probabilidade, assim, o presente estudo tem como objetivo estimar a precipitação provável mensal do município de Formiga – MG, a partir da definição de distribuições estatísticas que melhor representem séries históricas de precipitação mensal total. Os dados foram coletados por meio do sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas, com intuito de obter as precipitações prováveis mensais, a partir da totalização das precipitações diárias a cada mês, utilizando frequência de excedência. Foram ajustadas, às séries observadas as distribuições de frequência Gumbel para Máximos, Fréchet, Gama e Log-Normal a 2 e 3 parâmetros, sendo as aderências destes modelos aos dados testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, ambos a 5% de probabilidade. A distribuição Gama foi a que melhor se ajustou à maioria das séries de precipitação mensal. A precipitação provável mensal máxima para Formiga é 506,5915 mm, associada a uma probabilidade de 5% e referente ao mês de janeiro, enquanto que a menor, é 0,0819 mm, com probabilidade 95% no mês de julho.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos; manejo de irrigação; variabilidade temporal da chuva.

PROBABLE MONTHLY RAINFALL OF THE MUNICIPALITY OF FORMIGA – MG

ABSTRACT

The probable rainfall may be defined as the minimum rainfall water depth expected to a region associated with a probability level, thus, the present study aims to estimate the probable monthly rainfall of Formiga - MG, with the definition of frequency distributions that best represent historical series of monthly rainfall. The rainfall data were obtained from Hidroweb system, from the Agência Nacional de Águas, aiming to obtain monthly rainfall from the aggregation of daily rainfall on each month, using exceedance frequency. Were adjusted, to the observed

¹Engenheira Ambiental e Sanitarista, Centro Universitário de Formiga – MG. E-mail: jessica6alvarenga@yahoo.com.br

² Engenheiro Agrícola, Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor Adjunto da Universidade Federal de Lavras. E-mail: michael.thebaldi@deg.ufla.br

³ Engenheira Química, Centro Universitário de Formiga – MG. E-mail: lekresende@gmail.com

series, the statistical frequency distributions: Gumbel, Fréchet, Gamma and Log-Normal 2 and 3 parameters, being the fit of these models to the data tested by the Kolmogorov-Smirnov and Chi-Squared test, both with 5% of probability. The Gamma distribution had best fit to most of monthly precipitation series. The maximum monthly probable rainfall at Formiga is 506.5915 mm, associated with a probability of 5% and for the month of January, while the lowest is 0.0819 mm, with probability 95%, in July.

Keywords: water resources management; irrigation management; rainfall time variability.

INTRODUÇÃO

De acordo com Buriol et al. (2015) a precipitação é o principal componente de entrada do balanço hídrico de uma região, desta forma, é necessário medir as variações pluviométricas. A precipitação e sua intensidade, ao longo do ano, se medida, pode estabelecer se no próximo ano haverá déficit hídrico ou não, o que pode interferir diretamente no processo de evapotranspiração (TUCCI, 2000). Faz-se importante assim, o monitoramento pluviométrico pois, a partir disso, é possível se ter um bom gerenciamento dos recursos hídricos (SALGUEIRO, 2005).

Segundo Arai et al. (2010), o estudo da pluviosidade, é de importância fundamental para determinação do clima de uma região, além da evolução de culturas. Para Calgaro et al. (2009), além dos itens citados anteriormente, o estudo da precipitação pluvial se torna viável para previsão de viabilidade econômica na implantação de um projeto de irrigação. Por meio de estudos das variáveis climatológicas, pode-se prever o comportamento climático de regiões, com objetivo de planejar o gerenciamento de atividades agropecuárias (DOURADO NETO et al., 2005).

Martins et al. (2010) citam que, na agropecuária, é de grande importância a determinação a frequência das chuvas, pois a distribuição da pluviosidade possui mais interferência na produção agrícola do que a pluviosidade total.

Segundo Frizzone et al. (2005) e Ávila et al. (2009), a precipitação provável é a menor chuva aguardada em um determinado período do ano a um certo nível de probabilidade. Adicionalmente, autores como Oliveira e Carvalho (2003), Sampaio et al. (2006) e Soccol et al. (2010), orientam que, ao realizar

dimensionamentos para projetos agropecuários, seja usada como referência a precipitação provável, pois o uso de valores médios, pode resultar em superdimensionamentos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar a precipitação provável mensal do município de Formiga – MG, a partir da definição de distribuições estatísticas que melhor representem séries históricas de precipitação mensal total.

MATERIAL E MÉTODOS

Os valores de precipitação do município de Formiga, localizado no estado de Minas Gerais, foram obtidos no serviço Hidroweb, controlado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Foram utilizadas informações dos períodos entre 1925 a 1937, 1976 a 2005 e 2007 a 2014, sendo que os anos de 1924, 1938 a 1975 e 2006 não foram utilizados por não se tratarem de séries completas. Assim, foram considerados 51 anos de informações acerca da precipitação para o estudo. Os dados foram dispostos com objetivo de obter as precipitações prováveis mensais, a partir da totalização das precipitações diárias a cada mês. As frequências observadas das precipitações foram calculadas pela fórmula de Weibull (Equação 1).

$$f_{\text{obs}} = \frac{i}{N + 1} \quad (1)$$

em que:

i – Posição que o dado ocupa dentro da série histórica;

N – Tamanho da série histórica.

As lâminas precipitadas mensais foram alocadas de forma decrescente, com objetivo de se obter a frequência de excedência. Assim,

foram ajustadas às séries obtidas as Funções Cumulativas de Probabilidade das distribuições estatísticas log-Normal 2 parâmetros, log-Normal 3 parâmetros, Gumbel para Máximos, Gama e Fréchet para precipitação total mensal. A distribuição log-Normal 2 parâmetros é descrita pela Função Densidade de Probabilidade (FDP), como visto na Equação 2.

A distribuição Gumbel para máximos tem sua função densidade de probabilidade (FDP) representada pela equação 3.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \cdot e^{\left[-\frac{(x-\mu)}{\alpha} - e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}} \right]} \quad (3)$$

em que: α e μ - são os parâmetros da distribuição.

A função cumulativa de probabilidade é dada pela Equação 4, em que x é o valor da variável hidrológica avaliada - no caso deste estudo precipitação máxima diária anual, e x_i é um valor qualquer da mesma variável.

$$P(x \geq x_i) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (4)$$

Os parâmetros α e μ dados pelo método dos momentos são evidenciados nas equações 5 e 6, e são presumidos a partir da média (\bar{X}) e desvio padrão (S) amostrais.

$$\alpha = \frac{1,2826}{S} \quad (5)$$

$$\mu = \bar{X} - 0,451 \cdot S \quad (6)$$

A função de Fréchet fundamenta-se na aplicação da Distribuição Gumbel aos valores logaritmizados da variável hidrológica. Esta distribuição foi adotada para compreender as frequências de precipitações máximas. As funções densidade de probabilidade e cumulativa de probabilidade são representadas pelas equações 7 e 8, nesta ordem.

$$FDP = f(x) = \frac{\theta}{\lambda} \cdot \left(\frac{\lambda}{x}\right)^{\theta+1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{\lambda}{x}\right)^{\theta}\right] \quad (7)$$

$$P(X \geq x_i) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\lambda}{x}\right)^{\theta}\right] \quad (8)$$

Sendo que, para $x > 0$; $\theta, \lambda > 0$.

em que: θ - parâmetro da distribuição associado à média; λ - parâmetro da distribuição associado à variância.

A obtenção dos parâmetros da distribuição Fréchet, θ e λ se inicia com a Equação 9, a partir do coeficiente de variação (CV). Em seguida foi calculado o parâmetro λ por meio das Equações 10 e 11, a partir do ajuste da média.

$$CV = \sqrt{\frac{\Gamma\left(1 - \frac{2}{\theta}\right)}{\Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\theta}\right)}} - 1 \quad (9)$$

$$E(x) = \bar{X} = \lambda \cdot \Gamma\left(1 - \frac{1}{\theta}\right) \text{ para } \theta > 0 \quad (10)$$

$$\text{Var}(x) = s^2 = \lambda^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 - \frac{2}{\theta}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\theta}\right) \right] \quad (11)$$

Sendo $\theta > 2$.

em que: Γ - função Gama.

A estimativa de um valor x , vinculado a um TR, é dada através da equação 12.

$$x_{TR} = \lambda \cdot \left[\text{LN}\left(\frac{TR}{TR-1}\right) \right]^{\frac{1}{\theta}} \quad (12)$$

Já a função cumulativa de probabilidade da distribuição Gama é obtida pela equação 13.

$$FCP = \frac{1}{\beta^v \cdot \Gamma(v)} \int_0^x u^{(v-1)} e^{-\frac{u}{\beta}} du \quad (13)$$

Os parâmetros da distribuição Gama são dados pelas equações 14 e 15.

$$\beta = \frac{S^2}{\bar{X}} \quad (14)$$

$$v = \frac{(\bar{X})^2}{S^2} \quad (15)$$

em que: S^2 = desvio padrão amostral da série histórica; \bar{X} = média amostral da série histórica.

A distribuição log-Normal 2 parâmetros é exposta pela função densidade de probabilidade como descrito na equação 16.

$$f(x) = \frac{1}{X \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{\ln(x) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2} \quad (16)$$

em que: μ_n e σ_n - parâmetros da distribuição, correspondendo à média e ao desvio padrão dos logaritmos dos dados.

A equação base para estudos hidrológicos, aplicando a distribuição log-Normal 2 parâmetros é adaptada da equação geral de Ven Te Chow (Haan, 1979), conforme a equação 17.

$$X_{TR} = e^{\mu_n + \sigma_n \cdot K_{TR}} \quad (17)$$

em que:

X_{TR} - valor da variável hidrológica associada a um tempo de retorno;

K_T - variável reduzida da distribuição Normal.

A distribuição log-Normal 3 parâmetros é apresentada pela função densidade de probabilidade, conforme descrito na Equação 18.

$$f(x) = \frac{1}{(X - \beta) \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0.5 \left(\frac{\ln(x - \beta) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2} \quad (18)$$

Sendo $x \geq \beta$.

Para a estimativa dos parâmetros da distribuição log-Normal 3 parâmetros foram utilizadas as equações 19, 20, 21, 22 e 23.

$$\varphi = \frac{[-\gamma + (\gamma^2 + 4)^{0.5}]}{2} \quad (19)$$

$$\eta\gamma = \frac{(1 - \varphi^3)^{\frac{2}{3}}}{\varphi^{\frac{1}{3}}} \quad (20)$$

$$\beta = \bar{X} - \frac{S}{\eta\gamma} \quad (21)$$

$$\mu_n = \text{LN} \left(\frac{S}{\eta\gamma} \right) - 0,5 \cdot \text{LN}(\eta\gamma^2 + 1) \quad (22)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\text{LN}(\eta\gamma^2 + 1)} \quad (23)$$

em que: $\eta\gamma$ - coeficiente de variação da variável $y = x - \beta$; γ - coeficiente de assimetria da série histórica.

A equação base para estudos hidrológicos, aplicando a distribuição log-Normal 3

parâmetros, também é adaptada da equação geral de Ven Te Chow (Haan, 1979), conforme expresso na Equação 24.

$$X_{TR} = e^{\mu_n + \sigma_n \cdot K_{TR}} + \beta \quad (24)$$

De maneira geral, a escolha da distribuição estatística que melhor representaria a série histórica de precipitação mensal total, para cada um dos meses analisados, foi feita baseada nos testes de aderência sendo a distribuição escolhida aquela significativa a 5% de probabilidade tanto para os testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado e que possuísse menor valor de Qui-Quadrado calculado.

Já nos casos em que o teste de Qui-Quadrado não fosse significativo para nenhuma distribuição aplicada às séries históricas de precipitação mensal total, teve-se como parâmetro de decisão para a escolha da distribuição, aquela que fosse significativa pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e apresentasse valor de Qui-Quadrado calculado mais próximo do Qui-Quadrado tabelado significância a 5% de probabilidade.

Para casos em que porventura o teste de Kolmogorov-Smirnov não fosse significativo para nenhuma distribuição aplicada a série histórica de precipitação mensal total, tomou-se como distribuição estatística que melhor representaria a série, aquela significativa ao teste de Qui-Quadrado, possuindo menor valor de Qui-Quadrado calculado. Para séries históricas em que nenhuma distribuição tivesse aderência significativa à 5% de probabilidade em ambos os testes, foi obtida seleção com base na distribuição com menor Qui-Quadrado calculado, mesmo que não se pudesse ter confiança na representação da série pela distribuição.

Com estas definições, as precipitações prováveis mensais foram calculadas a partir de frequências de excedência de 95, 90, 80, 70, 75, 60, 50, 40, 30, 20, 15, 10 e 5%, equivalentes a tempos de retorno de 1,05; 1,11; 1,25; 1,33; 1,43; 1,67; 2,00; 2,50; 3,33; 5,00; 6,67; 10,00 e 20,00 anos.

PRECIPITAÇÃO MENSAL PROVÁVEL DO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores alcançados das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e

Qui-Quadrado, na estimativa do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga – MG, entre os meses de janeiro e abril, são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Valores alcançados das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado na estimativa do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga – MG, entre os meses de janeiro a abril.

Mês	Distribuição	ΔF Calculado Máximo	λ^2 Calculado
Janeiro	Gumbel para máximos	0,109824*	5,681316681*
	Fréchet	0,225709 ^{ns}	20,86216779 ^{ns}
	Gama	0,098953*	5,648061662*
	Log-Normal 2P	0,137229*	7,311934613*
	Log-Normal 3P	0,088939*	5,667249797*
Fevereiro	Gumbel para máximos	0,107003*	4,997465296*
	Fréchet	0,232885 ^{ns}	85,56727637 ^{ns}
	Gama	0,102269*	3,971570233*
	Log-Normal 2P	0,073475*	4,92683388*
	Log-Normal 3P	0,107211*	4,416906918*
Março	Gumbel para máximos	0,054194*	0,869435673*
	Fréchet	0,154841*	2368,510948 ^{ns}
	Gama	0,055557*	1,063269081*
	Log-Normal 2P	0,082033*	0,79032784*
	Log-Normal 3P	0,059829*	0,742326*
Abril	Gumbel para máximos	0,085686*	9,40800359*
	Fréchet	0,191201 ^{ns}	866731336,1 ^{ns}
	Gama	0,070971*	6,252081461*
	Log-Normal 2P	0,116411*	9,969925396*
	Log-Normal 3P	0,077677*	9,133340151*

Ao analisar a **Tabela 1**, tem-se que a distribuição que apresenta melhor as séries históricas de precipitação total para os meses de janeiro, fevereiro e abril é a Gama, enquanto que para março, é a distribuição Log-Normal 3P. Já os valores alcançados das

estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, na avaliação do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga – MG, entre os meses de maio e agosto, são mostrados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Valores obtidos das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado na avaliação do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga – MG, entre os meses de maio a agosto.

Mês	Distribuição	ΔF Calculado Máximo	λ^2 Calculado
Maio	Gumbel para máximos	0,070185*	3,958894463*
	Fréchet	0,279799 ^{ns}	5834860,986 ^{ns}
	Gama	0,053551*	0,132527305*
	Log-Normal 2P	0,233951 ^{ns}	42,0145701 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,058268*	2,778961*
Junho	Gumbel para máximos	0,215689 ^{ns}	37,31377741 ^{ns}
	Fréchet	0,396322 ^{ns}	145,3269709 ^{ns}
	Gama	0,229627 ^{ns}	1,290829224*

	Log-Normal 2P	0,28447 ^{ns}	56,12741067 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,1966 ^{ns}	22,51675 ^{ns}
Julho	Gumbel para máximos	0,218502 ^{ns}	67,61818106 ^{ns}
	Fréchet	0,480765 ^{ns}	427,7257903 ^{ns}
	Gama	0,421708 ^{ns}	8,288877997*
	Log-Normal 2P	0,293132 ^{ns}	74,4272383 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,21944 ^{ns}	62,89688528 ^{ns}
Agosto	Gumbel para máximos	0,191646 ^{ns}	66,05728017 ^{ns}
	Fréchet	0,471254 ^{ns}	4822,160734 ^{ns}
	Gama	0,249608 ^{ns}	7,318856967*
	Log-Normal 2P	0,271318 ^{ns}	65,22219356 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,191216 ^{ns}	61,16197596 ^{ns}

Têm-se que entre os meses de maio a agosto, a distribuição de frequências Gama melhor representa as séries históricas de precipitação mensal (**Tabela 2**).

Pode-se analisar, na **Tabela 3**, os valores obtidos das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado, na avaliação do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga –

MG, entre os meses de setembro a dezembro. Para setembro, a distribuição Gama foi a que melhor representou a série histórica de precipitação mensal total, enquanto que para outubro foi a distribuição Gumbel para máximos. Já para novembro e dezembro, as distribuições Log-Normal 2P e Log-Normal 3P melhor aderiram às séries históricas de precipitação mensal, respectivamente.

Tabela 3 - Valores obtidos das estatísticas dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado na avaliação do ajuste das funções à série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga – MG, entre os meses de setembro a dezembro.

Mês	Distribuição	ΔF Calculado Máximo	λ^2 Calculado
Setembro	Gumbel para máximos	0,109067*	14,32974917 ^{ns}
	Fréchet	0,309222 ^{ns}	35418332951 ^{ns}
	Gama	0,129537*	11,82938958 ^{ns}
	Log-Normal 2P	0,249095 ^{ns}	87,87882158 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,099534*	14,34644 ^{ns}
Outubro	Gumbel para máximos	0,056937*	1,49713088*
	Fréchet	0,180373*	11,75953854 ^{ns}
	Gama	0,061491*	1,944921*
	Log-Normal 2P	0,066737*	3,505135459*
	Log-Normal 3P	0,060415*	1,576840762*
Novembro	Gumbel para máximos	0,065348*	2,031675019*
	Fréchet	0,16224*	56,0685548 ^{ns}
	Gama	0,05154*	2,203872562*
	Log-Normal 2P	0,062099*	1,677253627*
	Log-Normal 3P	0,055444*	2,860016027*
Dezembro	Gumbel para máximos	0,104441*	79,60120199*
	Fréchet	0,15754*	1,22493 x 10 ^{23ns}
	Gama	0,08192*	20,42034 ^{ns}
	Log-Normal 2P	0,123482*	17,50593836 ^{ns}
	Log-Normal 3P	0,059869*	6,297557*

Considerando os valores apresentados nas **Tabelas 1, 2 e 3**, tem-se que a distribuição

Gumbel para máximos teve aderência significativa à 5% de probabilidade estatística em

PRECIPITAÇÃO MENSAL PROVÁVEL DO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG

75% dos meses para o teste de Kolmogorov-Smirnov e 66,66% para Qui-quadrado. A distribuição Fréchet ajustou-se em 33,33% dos meses, considerando o teste de Kolmogorov-Smirnov, e em nenhum dos meses ao avaliar a aderência pelo método do Qui-Quadrado. Já a distribuição Gama, aderiu-se significativamente em 75% dos meses, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e em 83,33% das avaliações pela análise do teste do Qui-Quadrado. A distribuição Log-Normal 2P foi adequada para representar as séries históricas de precipitação mensal em 58,33% dos meses pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e em 50% dos meses pelo Qui-Quadrado. Por último, a distribuição Log-Normal 3P foi significativa 75% das vezes para representar as séries históricas, enquanto pelo teste do e Qui-Quadrado, em 66,66% dos meses.

Assim, a distribuição estatística Fréchet foi a que menos representou significativamente as

séries históricas de precipitação mensal geradas, avaliando-se a aderência por ambos os testes. Este fato se deve a esta distribuição ter melhor desempenho ao representar séries de precipitações máximas (MELLO; SILVA, 2013), não tendo o mesmo desempenho para dados totais. Junqueira Júnior et al. (2007), ao estudarem a precipitação provável de Madre de Deus, obtiveram que, para séries de precipitação mensal total, a distribuição Log-Normal 3P foi a que mais apresentou adequabilidade aos dados analisados, o que não ocorreu para este estudo, em que a distribuição Gama apresentou melhores resultados.

Assim sendo, os valores obtidos dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga (MG), entre os meses de janeiro a abril, são mostrados na **Tabela 4**.

Tabela 4 - Valores obtidos dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga (MG), entre os meses de janeiro a abril.

	Gumbel para máximos	Fréchet	Gama	Log-Normal 2P	Log-Normal 3P
Janeiro	μ : 212,1124 α : 0,01009	λ : 215,283 θ : 3,723098	β : 59,99318 ν : 4,48904	μ : 5,473753 σ : 0,524594	β : -345,266 μ : 6,399992 σ : 0,204662
Fevereiro	μ : 138,9696 α : 0,013021	λ : 142,6145 θ : 3,427006	β : 52,93571 ν : 3,462617	μ : 5,041727 σ : 0,632675	β : -506,412 μ : 6,526173 σ : 0,142099
Março	μ : 122,303 α : 0,016215	λ : 124,6906 θ : 3,581442	β : 39,62578 ν : 3,984731	μ : 4,941537 σ : 0,508492	β : -42,7458 μ : 5,2293 σ : 0,380082
Abril	μ : 48,96541 α : 0,026659	λ : 52,10753 θ : 2,994605	β : 32,77938 ν : 2,154272	μ : 4,005227 σ : 0,801973	β : -44,6493 μ : 4,66693 σ : 0,400758

Já os valores obtidos dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação

mensal da cidade de Formiga (MG), entre os meses de maio a agosto, podem ser vistos na **Tabela 5**

Tabela 5 - Valores alcançados dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga (MG), entre os meses de maio a agosto.

	Gumbel para máximos	Fréchet	Gama	Log-Normal 2P	Log-Normal 3P
Maior	μ : 24,8076 α : 0,035533	λ : 28,5688 θ : 2,658529	β : 31,73981 ν : 1,293359	μ : 2,855652 σ : 2,661519	β : -43,1651 μ : 4,349058

					σ : 0,410677
Junho	μ : 6,48883	λ : 10,57517	β : 30,39743	μ : -0,28715	β : -19,9514
	α : 0,057104	θ : 2,310932	ν : 0,545971	σ : 5,12706	μ : 3,438411
Julho	μ : 5,612943	λ : 9,260375	β : 27,12901	μ : -2,37406	β : -32,7605
	α : 0,064546	θ : 2,306052	ν : 0,536509	σ : 6,067795	μ : 3,775619
Agosto	μ : 8,006402	λ : 11,91371	β : 29,19704	μ : -0,47186	β : -37,5206
	α : 0,05526	θ : 2,354625	ν : 0,631948	σ : 5,315188	μ : 3,945506
					σ : 0,398342

Os valores obtidos dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação mensal

da cidade de Formiga (MG), entre os meses de setembro e dezembro, podem ser vistos na **Tabela 6**.

Tabela 6 - Valores alcançados dos parâmetros de ajuste das funções avaliadas com os dados da série histórica de precipitação mensal da cidade de Formiga (MG), entre os meses de setembro a dezembro.

	Gumbel para máximos	Fréchet	Gama	Log-Normal 2P	Log-Normal 3P
Setembro	μ : 36,98992	λ : 40,889	β : 35,52776	μ : 2,890352	β : -134,749
	α : 0,028429	θ : 2,789475	ν : 1,612603	σ : 3,282247	μ : 5,230851
Outubro	μ : 86,33585	λ : 88,90793	β : 35,39631	μ : 4,585627	β : -66,6492
	α : 0,020098	θ : 3,36167	ν : 3,250422	σ : 0,609836	μ : 5,144212
Novembro	μ : 156,6275	λ : 157,0109	β : 23,09758	μ : 5,166489	β : -94,7777
	α : 0,019561	θ : 4,580041	ν : 8,058566	σ : 0,351568	μ : 5,611513
Dezembro	μ : 234,7258	λ : 235,1754	β : 32,83256	μ : 5,555705	β : -1297,46
	α : 0,013432	θ : 4,664351	ν : 8,457889	σ : 0,410346	μ : 7,360273
					σ : 0,060564

De acordo com Blain (2009), os meses que apresentam um elevado valor do parâmetro ν da distribuição Gama, indicam distribuições com formas próximas à normal, enquanto que o parâmetro β foi maior nos meses com maior evapotranspiração. Murta et al. (2005) cita que as estimativas da variância aumentam rapidamente com o aumento de β , já que a variância é diretamente proporcional ao quadrado deste parâmetro.

Utilizando apenas a distribuição considerada como a que melhor representa a série histórica de precipitação mensal total para cada mês, obteve-se a precipitação provável no município de Formiga – MG, considerando frequências de excedência de 95%, 90%, 80%, 75%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 15%, 10% e 5%. Desta maneira, a precipitação provável mensal com frequências de excedência de 95%, 90%, 80% e 75% para o município de Formiga – MG, pode ser analisada na **Figura 1**.

PRECIPITAÇÃO MENSAL PROVÁVEL DO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG

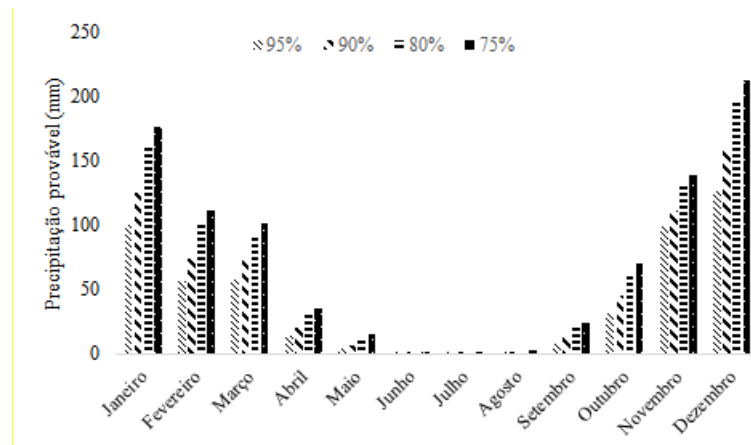


Figura 1. Precipitação provável mensal com frequências de excedência de 95%, 90%, 80% e 75% para o município de Formiga - MG

Para uma frequência de excedência de 95%, a maior precipitação provável obtida foi de 125,73 mm, enquanto que a menor, 0,08 mm. Considerando 90% de probabilidade, a máxima precipitação provável mensal é 157,39 mm, e a menor, 0,30 mm. Para um nível de frequência de excedência de 80%, a máxima precipitação provável mensal foi 196,67 mm, e 1,11 mm. Já para frequência de excedência de 75%, a

precipitação máxima provável é 211,88 mm enquanto a mínima provável, 1,71 mm. Todas as precipitações prováveis, máximas e mínimas, para estas frequências de excedência, foram obtidas para dezembro e julho, respectivamente.

A precipitação provável mensal com frequências de excedência de 70%, 60%, 50% e 40%, para o município de Formiga – MG, pode ser analisada na **Figura 2**.

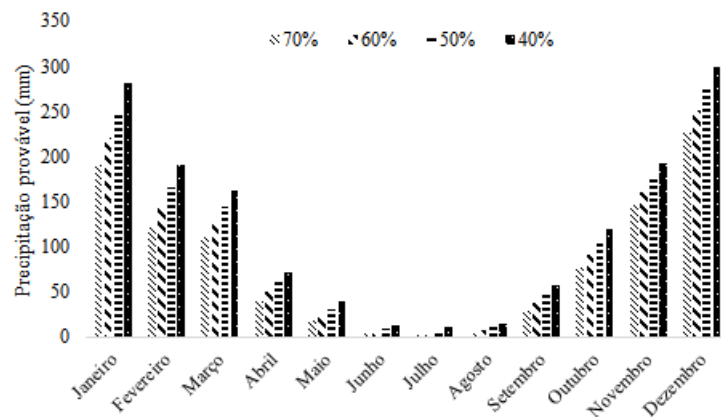


Figura 2. Precipitação provável mensal com frequências de excedência de 70%, 60%, 50% e 40% para o município de Formiga – MG.

Considerando as probabilidades de excedência de 70, 60, 50 e 40%, as máximas precipitações prováveis (225,66; 250,87; 274,81; 299,12 mm, respectivamente) foram todas obtidas para o mês de dezembro, enquanto as

mínimas (2,44; 4,37; 7,03; 10,71, respectivamente) em julho.

A precipitação provável mensal com frequências de excedência de 30%, 20%, 15%, 10% e 5%, para o município de Formiga – MG, pode ser analisada na **Figura 3**.

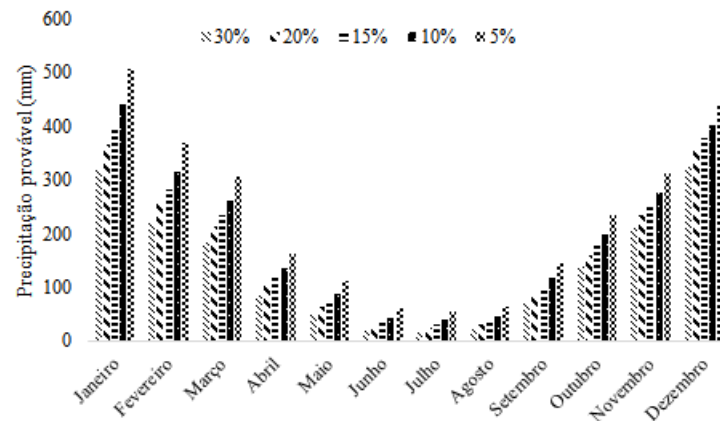


Figura 3. Precipitação provável mensal com frequências de excedência de 30%, 20%, 15%, 10% e 5%, para o município de Formiga – MG.

Diferentemente do comportamento obtido nas probabilidades analisadas anteriormente, apenas para as frequências de excedência de 30% e 5% (325,54 e 506,59 mm) a máxima precipitação provável foi obtida para o mês de dezembro. Para as demais (366,42; 397,77, 439,60 mm, para 20, 15 e 10% de frequência de excedência, respectivamente), as máximas foram observadas no mês de janeiro. Em contrapartida, no mês de julho foram registradas todas precipitações prováveis mínimas, considerando as probabilidades apresentadas na Figura 6, sendo estas 15,94; 23,96; 29,98; 38,80 e 54,52 mm, relativas a 30%, 20%, 15%, 10% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Dessa forma, constata-se que julho é o mês mais seco do ano, para o município de Formiga, enquanto dezembro e janeiro são os de maior precipitação, dependendo da probabilidade pretendida na quantificação da chuva.

CONCLUSÃO

Nem todas as distribuições de probabilidades testadas apresentaram aderência significativa para o município de Formiga – MG. O modelo de Fréchet apresentou o pior resultado, enquanto a distribuição Gama foi a que a melhor se aderiu significativamente à maioria das séries históricas de precipitação mensal.

Em todos os meses pelo menos uma distribuição de frequência estudada foi significativa a 5% de probabilidade, ou pelo teste

de Kolmogorov-Smirnov, ou pelo teste de Qui-Quadrado.

A precipitação provável mensal máxima para Formiga é 506,5915 mm, associada a uma probabilidade de 5% e referente ao mês de janeiro, enquanto que a menor, é 0,0819 mm, com probabilidade 95% no mês de julho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAI, F. K.; GONÇALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O. Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados - MS. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.922-931, 2010.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.906-915, 2009.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, p.12-23, 2009.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C. Distribuição geográfica da precipitação pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul.

Vidya Revista Eletrônica, v. 24, n. 41, p.133-145, 2004.

CALGARO, M.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BERNARDON, T. Variação espaço-temporal dos parâmetros para a modelagem estocástica da precipitação pluvial diária no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p.196-206, 2009.

DOURADO NETO, D. D.; ASSIS, J. P.; TIMM, L. C.; MANFRON, P. A.; SPAROVEK, G.; MARTIN, T. N. Ajuste de modelos de distribuição de probabilidade a séries históricas de precipitação pluvial em Piracicaba. São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.13, n.2, p.273-283, 2005.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE, J. A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 627 p.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Ames: The Iowa State University, 1979.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. M.; GOMES, N. M.; MELLO, C. R. **Precipitação provável para região de Madre de Deus, Alto Rio Grande**: modelos de probabilidades e valores característicos. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.3. p.842-850, 2007.

MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, A. S.; SANTI, A.; KOLLING, E. M.; COLETTI, A. J. Probabilidade de precipitação para a microrregião de Tangará da Serra, Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.3, p.291-296, 2010.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MURTA, R. M.; TEODORO, S. M.; BONOMO, P.; CHAVES, M. A. Precipitação pluvial mensal em níveis de probabilidade pela distribuição gama para duas localidades do sudoeste da Bahia. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, n.5, p.988-994, 2005.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 106-110, 2003.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação**: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2005.

SAMPAIO, S. C.; LONGO, A. J.; QUEIROZ, M. M. F.; GOMES, B. M.; VILLAS BOAS, M. A.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**, v.28, n.2, p.267-272, 2006.

SOCCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.569-574, 2010.

TUCCI, C. E. M.; **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS. 2000. p. 943.