

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PROVÁVEL PARA O MUNICÍPIO DE BOTUCATU-SP

DANIELA ARAUJO DE OLIVEIRA¹; ALBA MARIA GUADALUPE ORELLANA GONZALEZ¹; LISETT ROCIO ZAMORA ORTEGA¹; TAMIRES LIMA DA SILVA¹ E ALEXANDRE BARCELLOS DALRI²

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780 – CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu, SP, Brasil, E-mail: araujo1daniela@gmail.com; oregonza9@gmail.com; zroci9203@gmail.com; tamireslilva@gmail.com;

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - CEP 14884-900 Jaboticabal, SP, Brasil, E-mail: alexandre.dalri@unesp.br

1 RESUMO

No balanço hídrico de um local ou região, a precipitação pluviométrica é o principal elemento de entrada; portanto, o conhecimento de sua disponibilidade é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A precipitação pluviométrica provável é o valor extremo (mínimo ou máximo) de lâmina de chuva que tem uma probabilidade específica de ocorrência e pode ser calculada por meio de distribuições de probabilidades. Este estudo teve como objetivo estimar a precipitação pluviométrica provável nos níveis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de probabilidade de ocorrência para o município de Botucatu, SP, em períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias, utilizando a distribuição de probabilidade Gama. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% significância, indicou que a distribuição Gama se ajustou à precipitação pluviométrica provável mensal do município de Botucatu-SP e não se ajustou à dez períodos decendiais e um período quinzenal. Comparado com estudos anteriores, foram observadas variações de tendência na precipitação pluviométrica para Botucatu-SP, com redução no período considerado chuvoso e aumento no período considerado seco.

Palavras-chave: chuva, distribuição Gama, Kolmogorov-Smirnov, planejamento agrícola.

**OLIVEIRA, D. A. DE; ORELLANA-GONZALEZ, A. M. G.; ORTEGA, L. R. Z.; SILVA, T. L. DA; DALRI, A. B.
PROBABLE RAINFALL TO THE MUNICIPALITY OF BOTUCATU-SP**

2 ABSTRACT

In the water balance of a place or region, rainfall is the main input element; therefore, knowledge of its availability is essential for the sustainable management of water resources. Probable rainfall is the extreme value (maximum or minimum) of rainfall that has a specific probability of occurrence and can be calculated through probability distributions. This study aimed to estimate the probable rainfall at levels of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 90% probability of occurrence for the municipality of Botucatu, SP, in cumulative periods of 10, 15,

and 30 days, using the Gamma probability distribution. The Kolmogorov-Smirnov adherence test, at a 5% significance level, indicated that the Gamma distribution fitted the probable monthly rainfall in the municipality of Botucatu-SP and did not fit ten decennials' periods and one biweekly period. Compared to previous studies, trend variations in rainfall were observed for Botucatu-SP, with a reduction in the period considered rainy and an increase in the period considered dry.

Keywords: rainfall, Gamma distribution, Kolmogorov-Smirnov, agricultural planning.

3 INTRODUÇÃO

Precipitação pluviométrica ou chuva é a ocorrência da precipitação na forma líquida. O conhecimento da disponibilidade de precipitação pluviométrica de uma determinada localidade ou região é essencial para o planejamento sustentável dos recursos hídricos, sendo o fator determinante para quantificar, por exemplo, a necessidade de irrigação das culturas (TUCCI, 2007).

Segundo Buriol, Estefanel e Chagas (2004), no balanço hídrico de um local ou região, a precipitação pluviométrica é o principal elemento de entrada. É um fenômeno aleatório que apresenta variação espacial e temporal e pode ser analisado e expresso em termos de probabilidades. Nos estudos da sua variabilidade temporal, os registros de séries históricas podem ser analisados por meio da determinação de valores médios, frequência e intensidade das chuvas, probabilidades de ocorrência e tempo de retorno.

Nas análises de uma série histórica de dados de precipitação, pode-se trabalhar considerando-se todos os meses ou apenas um mês específico do ano (de interesse regional, por exemplo) e estudar os totais anuais, mensais, quinzenais ou qualquer outro período cumulativo de interesse. De acordo com Mello e Silva (2013), estudos que consideram a precipitação total mensal, quinzenal e decenal de uma determinada localidade são importantes para a estimativa do balanço hídrico de culturas visando ao manejo de irrigação com 75, 90 ou 95% de excedência, dependendo da cultura.

Precipitação pluviométrica provável pode ser definida como o valor mínimo de lâmina de chuva que tem uma probabilidade específica de ocorrência baseada na análise de uma série de dados, podendo ser calculada para diferentes intervalos de dias (FRIZZONE, 1979; CASTRO, 1994). Segundo Botelho e Moraes (1999), ao se conhecer o comportamento da precipitação pluviométrica, é possível determinar os períodos críticos predominantes no local analisado, tendo-se assim, informações que possam contribuir para a redução das consequências causadas pelas flutuações dos períodos de chuvas e estiagem, contribuindo para o planejamento de projetos hidráulicos ou de irrigação ou para a implantação de culturas mais adequadas ao regime pluviométrico local.

Para caracterizar a variabilidade da precipitação pluviométrica, é necessário analisar sua distribuição. Para tanto, análises de distribuição e testes estatísticos são comumente utilizados para determinar qual função de distribuição de probabilidade é mais adequada ao cálculo da precipitação pluviométrica provável a uma probabilidade específica de ocorrência (SILVA *et al.*, 2007). A distribuição de probabilidade Gama tem sido amplamente utilizada na estimativa da precipitação provável em diferentes níveis de probabilidades de ocorrência (SAAD; FRIZZONE, 1998; MOREIRA *et al.*, 2010; PASSOS; RAPOSO; MENDES, 2017; PASSOS; MENDES, 2018).

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), o teste de aderência de Kolmogorov-

Smirnov é um teste não paramétrico qualitativo que permite a conclusão de que determinada distribuição de probabilidade é adequada ou não a um conjunto de dados. A estatística do teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumuladas empírica (frequências observadas) e teórica de variáveis aleatórias contínuas.

Tendências na precipitação pluviométrica de uma região podem ser descritas por meio da observação de mudanças na frequência e/ou intensidade de eventos de chuva. Um estudo desenvolvido por Zilli *et al.* (2017), indicou uma alteração no padrão de chuvas do estado de São Paulo ao longo do tempo, sendo observado aumento no número de dias com chuva e na frequência e intensidade de eventos extremos.

Devido à possibilidade de ocorrência de variações de tendência na precipitação pluviométrica, o objetivo deste estudo foi estimar a precipitação pluviométrica

provável em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência para o município de Botucatu-SP, em períodos acumulados de 10, 15 e 30 dias, utilizando a distribuição de probabilidade Gama.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

Os dados utilizados para o ajuste da função de distribuição de probabilidade (fd) Gama foram coletados diariamente na estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônomicas- FCA, Unesp, localizada na Fazenda Lageado, município de Botucatu, SP, Brasil, na latitude 22°53'S, longitude 48°26'O e altitude de 786 m (Figura 1). A série de dados utilizada compreendeu o período de janeiro de 1983 a dezembro de 2019, totalizando 37 anos de dados.

Figura 1. Localização da Estação Meteorológica da Fazenda Lageado, Botucatu, SP, Brasil.



Fonte: Sarnighausen *et al.* (2021).

4.2 Análise de dados

Foram criadas três classes de precipitações pluviométricas acumuladas em períodos de 10, 15 e 30 dias. As

estimativas da precipitação pluviométrica mensal, quinzenal e decendial provável foram obtidas para os níveis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de probabilidade de ocorrência, utilizando-se o modelo

probabilístico distribuição Gama incompleta.

Segundo Thom (1958), a função densidade de probabilidade Gama $f(x)$ é dada pela Equação 1, a função Gama $\Gamma(\alpha)$ pela Equação 2 e a distribuição acumulada Gama $F(x)$ pela Equação 3.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (01)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-x} d(X) \quad (02)$$

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} d(x) \quad (03)$$

Em que: α - parâmetro de forma, adimensional; β - parâmetro de escala, em mm; e - base do logaritmo neperiano; X - precipitação, em mm; e Γ - função Gama.

A aderência dos dados ajustados de precipitação média mensal, quinzenal e decendial à distribuição de probabilidade Gama foi avaliada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância. Os valores dos parâmetros da distribuição Gama (alfa e beta) e o teste de

Kolmogorov-Smirnov foram calculados com o uso do *software* STATISTICA (versão 10.0).

É muito comum, principalmente em períodos curtos, a não ocorrência de precipitação, ou seja, a precipitação é igual a zero. O valor zero não pode ser utilizado na estimativa dos parâmetros pelo o método da máxima verossimilhança e trabalhar somente com os valores não nulos pode ocasionar uma superestimação da precipitação pluviométrica a um determinado nível de probabilidade (CASTRO, 1994). Por conta disso, neste estudo, trabalhou-se com os valores com uma casa decimal, substituindo-se os valores de precipitação iguais a 0 mm por 0,1 mm.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as precipitações pluviométricas médias e as prováveis nos níveis de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90% de probabilidade de ocorrência para os períodos decendiais estudados. Destaca-se que esses níveis de probabilidade se referem à probabilidade de ocorrência de uma precipitação máxima provável.

Tabela 1. Precipitações pluviométricas médias (Pm) e prováveis, expressas em mm, para períodos decendiais em Botucatu, SP, série histórica 1983-2019.

Período	Pm	Probabilidade (%)								
		90	80	70	60	50	40	30	20	10
01 a 10/01	98,0	200,5	150,4	119,7	97,1	78,7	62,8	48,5	34,8	20,9
11 a 20/01	99,5	185,6	145,8	120,8	101,8	86,0	71,9	58,7	45,5	30,9
21 a 31/01	105,1	123,5	116,7	112,0	108,0	104,4	100,9	97,2	93,0	87,4
01 a 10/02	78,4	89,1	85,2	82,5	80,2	78,1	76,0	73,9	71,4	68,0
11 a 20/02	78,4	97,6	90,4	85,3	81,2	77,5	73,8	70,1	65,9	60,3
21 a 28/02	52,2	61,5	58,1	55,7	53,7	51,9	50,2	48,3	46,2	43,4
01 a 10/03	68,9	79,8	75,8	73,0	70,7	68,6	66,5	64,3	61,8	58,4
11 a 20/03	52,2	65,4	60,4	56,9	54,1	51,5	49,0	46,5	43,6	39,8
21 a 31/03	50,7	58,8	55,8	53,8	52,0	50,5	48,9	47,3	45,5	43,0
01 a 10/04	26,8	32,4	30,3	28,9	27,6	26,5	25,5	24,3	23,1	21,4
11 a 20/04	31,9	41,6	37,9	35,3	33,2	31,3	29,5	27,7	25,6	22,9
21 a 30/04	19,7	23,7	22,2	21,2	20,3	19,6	18,8	18,0	17,1	15,9
01 a 10/05	21,8	33,1	28,4	25,3	22,9	20,7	18,7	16,7	14,5	11,9
11 a 20/05	27,8	32,9	31,0	29,7	28,6	27,6	26,7	25,6	24,5	22,9
21 a 31/05	36,6	42,2	40,2	38,7	37,5	36,4	35,4	34,2	32,9	31,2
01 a 10/06	27,5	31,2	29,9	28,9	28,1	27,4	26,7	25,9	25,1	23,9
11 a 20/06	16,9	19,9	18,8	18,1	17,4	16,8	16,3	15,7	15,0	14,1
21 a 30/06	10,4	14,0	12,6	11,7	10,9	10,2	9,6	8,9	8,2	7,2
01 a 10/07	12,8	15,5	14,5	13,8	13,3	12,7	12,2	11,7	11,1	10,3
11 a 20/07	11,8	14,4	13,4	12,8	12,3	11,8	11,3	10,8	10,2	9,5
21 a 31/07	14,9	18,0	16,9	16,1	15,4	14,8	14,2	13,6	12,9	12,0
01 a 10/08	11,0	13,2	12,4	11,9	11,4	11,0	10,6	10,1	9,6	9,0
11 a 20/08	11,8	14,1	13,3	12,7	12,2	11,8	11,3	10,9	10,4	9,7
21 a 31/08	17,1	20,3	19,2	18,4	17,7	17,1	16,5	15,8	15,1	14,1
01 a 10/09	27,4	31,4	29,9	28,9	28,1	27,3	26,6	25,8	24,9	23,6
11 a 20/09	26,9	32,2	30,3	28,9	27,8	26,8	25,8	24,7	23,5	21,9
21 a 30/09	28,8	36,0	33,3	31,4	29,8	28,5	27,1	25,7	24,1	22,1
01 a 10/10	28,6	34,9	32,6	30,9	29,5	28,3	27,1	25,8	24,4	22,6
11 a 20/10	41,8	48,2	45,8	44,2	42,8	41,6	40,3	39,1	37,6	35,6
21 a 31/10	41,8	50,6	47,3	45,0	43,2	41,4	39,8	38,0	36,1	33,5
01 a 10/11	34,3	42,5	39,4	37,2	35,5	33,9	32,3	30,7	28,9	26,5
11 a 20/11	47,7	55,5	52,6	50,6	49,0	47,4	45,9	44,4	42,6	40,2
21 a 30/11	54,4	65,2	61,2	58,4	56,1	54,0	51,9	49,8	47,3	44,1
01 a 10/12	56,8	69,1	64,5	61,3	58,7	56,3	53,9	51,5	48,8	45,1
11 a 20/12	55,7	64,9	61,5	59,2	57,2	55,4	53,7	51,8	49,8	47,0
21 a 31/12	76,0	95,3	88,0	83,0	78,8	75,1	71,4	67,7	63,5	57,9

*Os valores sombreados representam os períodos que não se ajustaram à distribuição de probabilidade Gama pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os dados dos períodos de 01 a 10/05, 11 a 20/05, 11 a 20/06, 21 a 30/06, 01 a 10/07, 11 a 20/07, 21 a 31/07, 01 a 10/08, 11 a 20/08 e 21 a 31/08 não se ajustaram à distribuição de probabilidade Gama pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Tais resultados diferem de Castro (1994), que estudou a distribuição de precipitação para o mesmo município em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias para uma série histórica de 31 anos (1961-1991), e apontou que a distribuição Gama se adequou, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância, a todos os períodos estudados. Todavia, destaca-se que o período estudado por Castro (1994) é diferente ao avaliado no presente estudo (1983-2019) e que em outros estudos como o de Araújo *et al.* (2001), a função de distribuição de probabilidade Gama não se ajustou ao período mais seco. Segundo Rossi *et al.* (2018), o período seco em Botucatu inicia em abril e se estende até setembro, compreendendo assim, o período (maio a agosto) no qual os dados decendiais não se ajustaram à distribuição Gama.

Sampaio *et al.* (2007) ao analisarem a precipitação provável para Londrina-PR, estimada pela distribuição Gama, não obtiveram o ajuste aceito pelo teste de Kolmogorov-Smirnov em três decêndios. Já Ribeiro e Lunardi (1997) ao estudarem as condições pluviométricas mensais no mesmo município, determinaram que a distribuição Gama representa as condições locais. Do mesmo modo, Dourado Neto *et al.* (2005) recomendam a distribuição Gama para as estimativas diárias de probabilidade de precipitação em Piracicaba-SP apenas para os meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro (meses com maior incidência de chuvas), salientando que caso o pesquisador tenha mais de um modelo ajustado para um determinado período, ele deve optar pela distribuição mais simples, versátil e flexível, pois a qualidade dos resultados é a mesma.

Para o terceiro decêndio de janeiro, tem-se a probabilidade de apenas 10% da

precipitação ser igual ou menor que 87,4 mm, caracterizando uma possibilidade de 90% da precipitação pluviométrica ser maior que esse valor neste período. Para o período de 01 a 10/01, há 90% de probabilidade de ocorrência de uma precipitação pluviométrica de até 200,5 mm, ou seja, em 1 em cada 10 anos, a precipitação no primeiro decêndio em Botucatu será maior ou igual a 200,5 mm. Esses dados corroboram com Cunha e Martins (2009), que analisaram dados de precipitação entre 1971 e 2006 em Botucatu a fim de determinar a classificação climática do município, e obtiveram em janeiro o maior valor de precipitação mensal.

Observando os valores médios de precipitação de 1983 a 2019, os decêndios com as maiores incidências de chuva ocorreram nos meses de janeiro a março e novembro e dezembro, também nesses meses se observou os maiores valores de desvio padrão, porém, o mês de novembro obteve um menor desvio padrão dentre os meses chuvosos, podendo indicar que as chuvas nos decêndios de novembro são mais uniformes que nos demais períodos chuvosos.

Os resultados das precipitações pluviométricas prováveis para períodos de 15 dias estão apresentados na Tabela 2. Nota-se que pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o ajuste foi aceito em praticamente todos os períodos quinzenais, exceto de 01 a 15/08. Junqueira Júnior *et al.* (2007) mencionam que o ajuste a modelos de probabilidade utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov é mais difícil quanto menor for o período analisado, isto significa que a possibilidade de dados decendiais se ajustarem a um modelo de distribuição de probabilidade é sempre menor que de dados quinzenais, que é menor que de dados mensais, e assim por diante. Os autores afirmam que ao diminuir o período de análise, aumenta-se o desvio padrão e também o coeficiente de variação da amostra, dessa forma, a frequência de dados

observados tem uma distorção em relação à frequência teórica, influenciada pelos parâmetros dos modelos de probabilidades.

Tabela 2. Precipitações médias (Pm) e prováveis, expressas em mm, para períodos quinzenais em Botucatu, SP, série histórica 1983-2019.

Período	Pm	Probabilidade (%)								
		90	80	70	60	50	40	30	20	10
1 a 15/01	155,9	289,8	228,0	189,2	159,7	135,1	113,2	92,5	71,9	49,1
16 a 31/01	146,6	279,4	217,3	178,5	149,2	125,0	103,5	83,5	63,8	42,2
01 a 15/02	119,5	227,8	177,1	145,5	121,6	101,8	84,3	68,0	51,9	34,4
16 a 28/02	88,8	154,3	125,2	106,6	92,3	80,1	69,0	58,4	47,5	34,8
01 a 15/03	88,9	167,3	130,9	108,1	90,8	76,4	63,7	51,7	39,9	26,8
16 a 31/03	81,3	160,8	122,7	99,2	81,7	67,3	54,7	43,2	32,0	20,1
01 a 15/04	42,1	104,3	69,1	49,2	35,6	25,4	17,4	11,1	6,1	2,3
16 a 30/04	36,2	93,4	59,6	40,9	28,5	19,5	12,7	7,6	3,8	1,2
01 a 15/05	33,9	66,7	51,1	41,4	34,2	28,2	23,0	18,2	13,6	8,6
16 a 31/05	52,2	129,1	85,6	61,0	44,2	31,6	21,8	13,9	7,7	2,9
01 a 15/06	35,0	99,7	56,0	33,9	20,5	11,9	6,3	2,9	1,0	0,2
16 a 30/06	19,9	56,6	31,9	19,3	11,7	6,8	3,6	1,7	0,6	0,1
01 a 15/07	17,3	49,2	27,9	17,1	10,4	6,1	3,3	1,5	0,5	0,1
16 a 31/07	22,2	63,7	35,4	21,1	12,6	7,1	3,7	1,6	0,5	0,1
01 a 15/08	12,8	38,5	18,9	9,9	5,0	2,4	1,0	0,3	0,1	0,0
16 a 31/08	27,1	78,6	42,8	25,1	14,6	8,1	4,1	1,7	0,5	0,1
01 a 15/09	40,5	113,7	65,6	40,8	25,4	15,3	8,5	4,1	1,5	0,3
16 a 30/09	42,7	106,8	70,1	49,4	35,4	25,0	17,0	10,7	5,7	2,1
01 a 15/10	48,9	114,4	79,1	58,5	44,1	32,9	23,9	16,4	10,0	4,5
16 a 31/10	63,2	112,3	90,2	76,2	65,5	56,4	48,1	40,3	32,3	23,2
01 a 15/11	58,3	110,7	86,2	70,9	59,4	49,8	41,3	33,4	25,6	17,0
16 a 30/11	78,1	152,3	117,1	95,3	78,9	65,4	53,6	42,7	32,0	20,6
01 a 15/12	97,0	183,8	143,3	118,0	98,8	82,9	68,9	55,7	42,7	28,5
16 a 31/12	104,5	184,1	148,4	125,8	108,3	93,5	80,1	67,3	54,2	39,2

*Os valores sombreados representam os períodos que não se ajustaram à distribuição de probabilidade Gama pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Para o período acumulado de 15 dias, os menores valores de precipitação pluviométrica provável foram observados na primeira quinzena de julho (01 a 15/07), diferindo do encontrado por Castro (1994), que observou as menores precipitações prováveis para o mesmo município na segunda quinzena de julho e primeira quinzena de agosto, destaca-se que no presente estudo não houve ajuste dos dados

à distribuição de probabilidade analisada para a primeira quinzena de agosto (01 a 15/08) (Tabela 2). Entretanto, todas essas quinzenas estão dentro dos períodos de deficiência hídrica de Botucatu, definidos por Cunha e Martins (2009) como os meses de abril, julho e agosto.

Em 9 das 24 quinzenas, ou seja, em 37,5%, a precipitação média superou 75 mm e a primeira quinzena é a que apresenta a

maior média (155,9 mm). Do restante, 4 quinzenas obtiveram uma média menor que 25 mm e 11 quinzenas oscilaram entre 25 e 75 mm, demonstrando a variabilidade temporal das chuvas na localidade estudada.

A análise de precipitações prováveis de curtos períodos, como 5, 10, 15 dias, em determinada região é uma ferramenta cada vez mais relevante no planejamento de diversas atividades agrícolas, como na elaboração de um projeto de irrigação. Ao conhecer-se os valores de uma lâmina mínima a precipitar, com uma margem de segurança, obtém-se projetos de irrigação melhores dimensionados, com menor custo, redução de vazões outorgáveis e melhor uso da água disponível (RIBEIRO *et al.*, 2007; DALLACORT *et al.*, 2011).

Na Tabela 3, são exibidos os resultados das médias mensais, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação e os valores extremos da precipitação pluviométrica. Observa-se uma variabilidade muito grande dos dados de precipitações totais mensais para a região de Botucatu-SP, por exemplo, no mês de janeiro, considerado um mês de muita chuva, ocorreram precipitações mensais que variaram de 712,3 mm (2011) a 67,6 mm (1998), e em julho, considerado um mês seco, as precipitações variaram de 0 a 172,6 mm. A maior precipitação média mensal ocorreu em janeiro (302,5 mm) e a menor no mês de julho (39,5 mm).

Tabela 3. Médias mensais, variância, desvio-padrão (S), coeficiente de variação (CV) e valores extremos de precipitação pluviométrica em Botucatu, SP, série histórica 1983-2019.

Meses	Média (mm)	Variância	S (mm)	CV (%)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Jan.	302,5	16558,1	128,7	42,5	712,3	67,6
Fev.	208,3	6244,2	79,0	37,9	367,1	66,6
Mar.	170,2	7219,2	85,0	49,9	426,1	49,0
Abr.	78,3	2207,4	47,0	60,0	250,1	2,8
Mai.	86,2	4059,7	63,7	74,0	286,8	1,3
Jun.	54,8	3438,5	58,6	107,0	228,4	0,0
Jul.	39,5	1872,1	43,3	109,5	172,6	0,0
Ago.	39,9	1717,9	41,4	103,8	164,6	0,0
Set.	83,1	3781,2	61,5	74,0	240,6	0,0
Out.	112,1	4536,8	67,4	60,1	359,6	9,8
Nov.	136,4	4079,3	63,9	46,8	289,0	30,1
Dez.	201,4	6554,4	81,0	40,2	419,1	64,8

Na Tabela 3 também estão contidos os valores estimados das médias e das variâncias de dois meses mais chuvosos (janeiro e fevereiro) e dois meses menos chuvosos (julho e agosto), verificando-se em geral, que à medida que a precipitação média mensal aumenta, a variância também aumenta, o que indica que os valores observados tendem a estar mais distantes da média, temos uma distribuição mais “espalhada”. Observa-se também que as

variâncias são menores nos meses menos chuvosos.

Ao analisar o desvio padrão, encontramos que os valores maiores se dão nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, isso significa que os dados analisados estão bem distribuídos em torno da média, nos meses mais chuvosos; enquanto nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, o desvio padrão é mais pequeno, o que indica

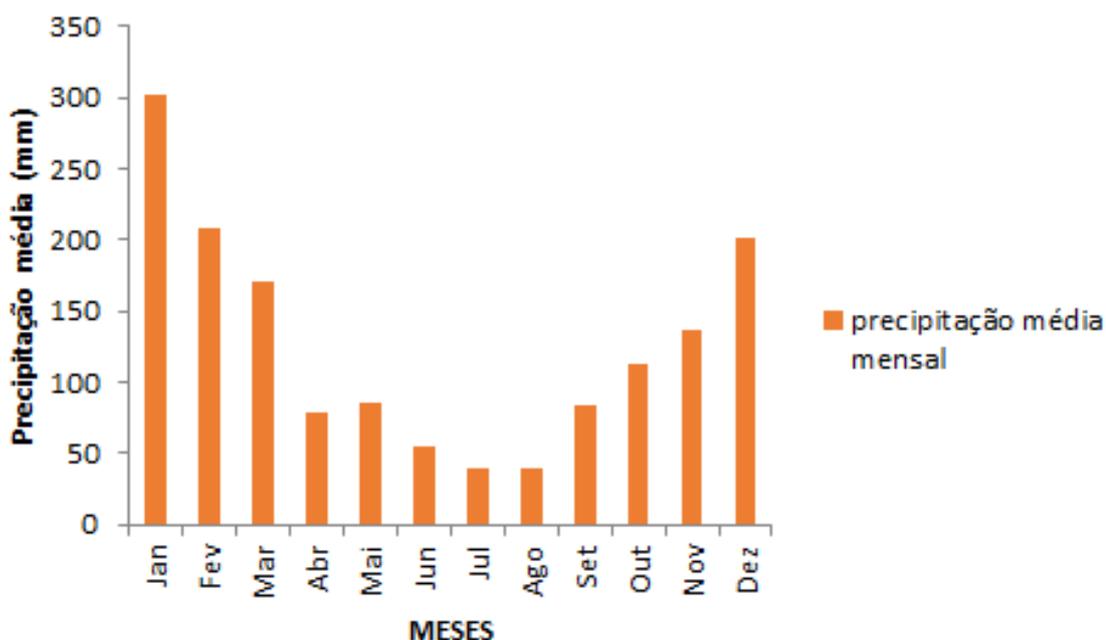
que nos meses mais secos, os dados estão condensados, próximos da média. Dito de outra forma, quanto menor o desvio padrão, mais homogênea é a amostra.

Em relação à variabilidade, medida pelo coeficiente de variação-CV (%), dos dados mensais de precipitação, em Botucatu-SP, a variabilidade é alta ($CV > 60\%$) nos meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, com base nos limites do CV propostos por Warrick e Nielsen (1980). Segundo Landim (2003), o coeficiente de variação fornece uma medida relativa da precisão dos dados analisados, sendo bastante útil na avaliação da dispersão dos dados. Observa-se que na região estudada há maior dispersão dos dados na estação de inverno (Hemisfério Sul).

Com relação à distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos meses, verifica-se que há concentração de chuvas (Figura 2), definindo assim duas estações. A primeira, estação úmida, ocorre de outubro a março, com índices pluviométricos mensais oscilando entre 112,11 e 302,5 mm. A segunda, estação

seca, estende-se ao longo dos meses de abril a setembro, com flutuações na precipitação pluviométrica de 39,49 a 86,15 mm. O mês de janeiro teve os maiores valores de precipitação, com um total médio mensal de 302,5 mm, e o mês de julho, o menos chuvoso, com 39,49 mm. No estudo desenvolvido por Castro (1994) para a região de Botucatu-SP, as médias mensais da precipitação pluviométrica durante o período analisado (1961-1991) oscilaram entre 132,0 mm (outubro) e 231,0 mm (janeiro) na estação úmida. Já na estação seca, a precipitação pluviométrica apresentou flutuações de 36 mm (julho) a 79 mm (setembro). Comparando os resultados encontrados para precipitação média (Tabela 3) com os obtidos por Castro (1994) para Botucatu-SP, observa-se uma redução de 15,06% na precipitação média mensal de outubro e um aumento de 30,95% na precipitação média mensal de janeiro. Analisando a estação seca, observa-se um ligeiro aumento na precipitação média mensal de 9,72% e 5,18% para os meses de julho e setembro, respectivamente.

Figura 2. Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal para o município de Botucatu, SP, série histórica 1983-2019.



Esses resultados se assemelham aos encontrados por Teramoto & Escobedo (2012) que também observaram para Botucatu um ciclo anual de chuva caracterizado por dois períodos: um período com alta precipitação (outubro a março), no qual ocorre 75 a 90% do total anual da precipitação acumulada, com janeiro sendo o mês mais chuvoso (288, 2 mm), e um período com baixa precipitação (abril a setembro), no qual os índices pluviométricos encontram-se abaixo de 100 mm. De acordo com Carvalho *et al.* (2004), Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos-

CPTEC (2010) e Reboita *et al.* (2010), no período de alta precipitação, a ocorrência de chuvas e a elevada nebulosidade são resultantes dos Sistemas Frontais e da formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, enquanto no período com baixa precipitação, a baixa nebulosidade e as chuvas de pequena a média intensidade são resultantes da passagem de frentes frias.

As estimativas dos parâmetros α e β da distribuição de probabilidade Gama para os dados da precipitação pluviométrica do município de Botucatu, SP, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros Alfa (α) e Beta (β) da distribuição de probabilidade Gama para a precipitação média (P_m) e prováveis para períodos mensais em Botucatu, SP, série histórica 1983-2019.

Meses	Parâmetros	
	α	β
Jan.	5,0344	60,0876
Fev.	6,3675	32,7175
Mar.	4,5054	37,7735
Abr.	2,4431	32,0540
Mai.	1,5907	54,1622
Jun.	0,7270	75,3949
Jul.	0,6184	63,8780
Ago.	0,3909	102,2059
Set.	0,8558	97,1407
Out.	2,6373	42,5122
Nov.	4,0286	33,8615
Dez.	6,3673	31,6375

Pelas estimativas, o parâmetro α oscila entre 0,3909 no mês de agosto e 6,3675 no mês de fevereiro. Observa-se que os valores de α foram mais elevados nos meses que apresentam altas precipitações (outubro a março). De acordo com Botelho e Moraes (1999), a razão para pela qual α apresenta maiores valores em meses mais chuvoso é a assimetria pronunciada dos dados referentes ao período de baixa precipitação (abril a setembro), visto que a assimetria é inversamente proporcional a α .

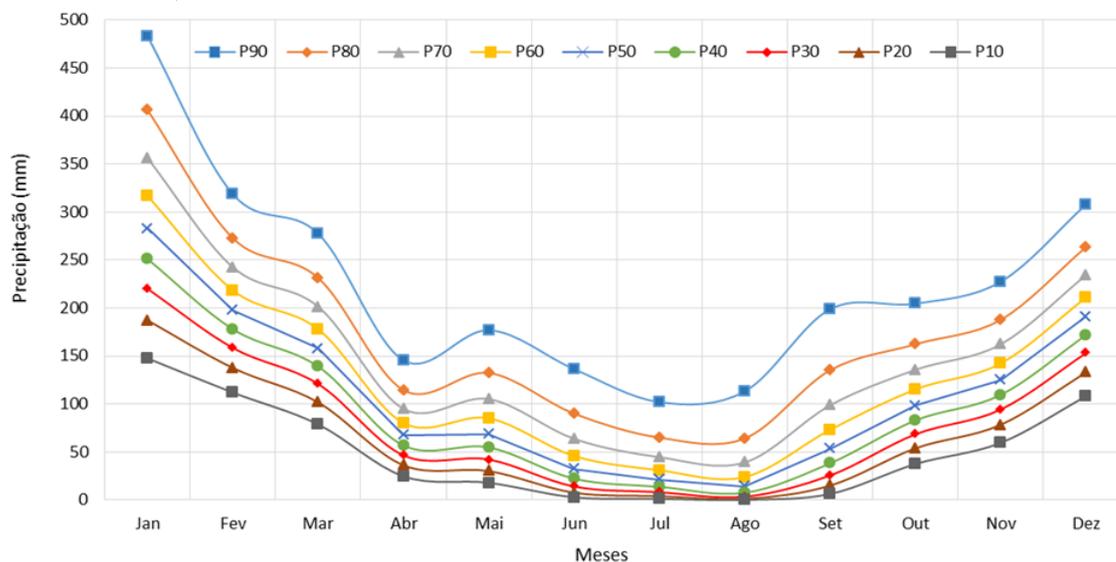
Os valores de β flutuaram de 31,6375 em dezembro a 102,2059 em agosto.

Inversamente ao parâmetro α , o parâmetro β mostrou tendência em apresentar valores mais elevados no período mais seco (abril a setembro) (Tabela 4).

Os totais prováveis de precipitações mensais para Botucatu-SP associadas aos níveis de ocorrência de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80 e 90% de probabilidade estão apresentadas na Figura 3. Observa-se, por exemplo, que para o mês de janeiro, a probabilidade de 90% significa que há 10% de chance de a precipitação pluviométrica deste mês ser igual ou maior que a precipitação provável (483 mm), ou seja,

90% da chuva para janeiro deverá ser inferior a esse valor.

Figura 3. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal provável para o município de Botucatu, SP, em diferentes níveis de probabilidade segundo a função de distribuição Gama, série histórica 1983-2019.



P10=10% de probabilidade de ocorrência; P20=20% de probabilidade de ocorrência; P30= 30% de probabilidade de ocorrência; P40= 40% de probabilidade de ocorrência; P50= 50% de probabilidade de ocorrência; P60=60% de probabilidade de ocorrência; P70=70% de probabilidade de ocorrência; P80= 80% de probabilidade de ocorrência; e P90= 90% de probabilidade de ocorrência.

Para os meses de janeiro (média = 302,5 mm), fevereiro (208,3 mm), março (170,2 mm), abril (78,3), outubro (112,1 mm), novembro (136,4 mm) e dezembro (201,4 mm), a média manteve-se entre níveis de 50 a 60% de probabilidade. Nos meses de maio (86,2 mm), junho (54,8 mm), julho (39,5 mm) e setembro (83,1 mm), a média localizou-se entre os níveis de 60 e 70% de probabilidade. Já no mês de agosto (39,9 mm), a média ficou entre os níveis de 70 a 80% de probabilidade (Figura 3). Como a maioria das médias mensais de precipitação pluviométrica para o município de Botucatu-SP estiveram localizadas em níveis menores que 75% de probabilidade (< 75%), que é a probabilidade de ocorrência usualmente empregada em projetos de irrigação, os projetos de irrigação para essa localidade não devem ser baseados no valor médio da precipitação mensal.

O teste de aderência não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de

significância, mostrou que a distribuição de probabilidade Gama foi adequada para representar as precipitações mensais do município de Botucatu-SP no período estudado.

6 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho permitem concluir que:

a) O modelo probabilístico Gama adequou-se a precipitação pluviométrica mensal do município de Botucatu-SP.

b) Para dados mensais, em geral, as estimativas dos parâmetros de forma (α) são menores nos meses menos chuvosos e maiores nos meses chuvosos. Enquanto, as estimativas do parâmetro de escala (β) apresentam maiores valores nos meses mais secos.

c) Com relação à distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos

meses, verifica-se diferenças na sua concentração, definindo-se claramente dois períodos: um com alta incidência de chuvas, denominado; portanto, chuvoso, ocorre entre os meses de outubro e março, com índices pluviométricos mensais oscilando entre 112,11 e 302,5 mm; e outro com baixa incidência de chuvas, denominado como período seco, compreende os meses de abril a setembro, caracterizado por precipitações pluviométricas mensais variando de 39,49 a 86,15 mm. O mês de janeiro apresentou os maiores valores de precipitação, com um total médio mensal de 302,5 mm e o mês de julho, o menor valor, apresentando média mensal igual a 39,49 mm.

d) Comparado com estudos anteriores, foram observadas variações de tendência na precipitação pluviométrica para Botucatu-SP, com redução no período considerado chuvoso e aumento no período considerado seco.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de estudo.

8 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MEDEIROS, R. D. de; SAMPAIO, R. A. Precipitação pluviométrica mensal Provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.
- BOTELHO, V. A. V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos Parâmetros da Distribuição Gama de Dados Pluviométricos do Município de Lavras, Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.3, p.697-706, jul./set., 1999.
- BURIOL, G.A; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A.C. Distribuição Geográfica da Precipitação Pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Vidya Revista Eletrônica**, Santa Maria, v. 24, n. 41, p. 133-145, jan./junho. 2004.
- CARVALHO, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p.88-108, 2004.
- CASTRO, R. **Distribuição Probabilística da Frequência de Precipitação na Região de Botucatu-SP**. 1994. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Energia na agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 1994.
- CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/ INPE. Climanálise – Boletim de monitoramento e análise climática. <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~reclimanl/boletim/>>. 24 jan. 2020.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, janeiro-março, 2009.

DALLACORT, R. MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-200, 2011.

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

FRIZZONE, J.A. **Análise de cinco modelos para o cálculo de distribuição e frequência de precipitações na região de Viçosa-MG**. 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 1979.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; GOMES, M. N.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. precipitação provável para a região de Madre de Deus, Alto Rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 842-850, maio/jun., 2007.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. São Paulo. UNESP, 2003, 253 p.

MELLO, C.R; SILVA, A.M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras-UFLA, 2013. 455 p. ISBN 978-85-8128-029-6.

MOREIRA, P. S. P.; DALLACORT, R.; MAGALHÃES, R. A.; INOUE, M. H.; STIELER, M. C.; SILVA, D. J.; MARTINS, J. A. Distribuição e Probabilidade de Ocorrência de Chuvas no Município de Nova Maringá-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta-MT, v. 8, n. 1, p. 9-20, 2010.

NAGHETTINI, M; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil, CPRM, 2007. 552 p. ISBN 978-85-7499-023-1.

PASSOS, M. L. V.; MENDES, T. J. Precipitação Pluviométrica Mensal e Anual Provável para o Município de Turiaçu-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 2283-2292, jan./fev. 2018.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A.B.; MENDES, T. J. Precipitação Pluviométrica Mensal e Anual Provável para o Município de São Mateus – ES. **Agropecuária Científica no Semiárido-ACSA**, Patos-PB, v. 13, n. 2, p. 162-168, abr./jun. 2017.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, p.185-204, 2010.

RIBEIRO, A. M. A.; LUNARDI, D. M. C. A precipitação mensal provável para Londrina-PR, através da função Gama. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.12, n.4, p. 37-44, 1997.

RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa de precipitação provável para a região de Barbacena-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1297-1302, set./out. 2007.

ROSSI, L. R. *et al.* Análise Sazonal da Transmissividade Atmosférica da Radiação Solar Global Infravermelha em Botucatu/SP/Brasil. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018. p. 1-9.

SAAD, J. C. C.; FRIZZONE, J. A. Estudo da Distribuição de Frequência da Precipitação Pluvial visando o Dimensionamento de Sistemas de Irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 03, n. 1, p. 13-19, jan./abr., 1998.

SAMPAIO, S. C.; QUEIROZ, M. M. F.; FRIGO, E. P.; LONGO, A. J.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 38-53, janeiro-março, 2007.

SARNIGHAUSEN, V. C. R.; GOMES, F. G.; PAI, A. dal.; RODRIGUES, S. A. Estimativa da Evapotranspiração de Referência para Botucatu-SP por meio de Modelos de Regressão. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 766-787, 22 jun. 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.71569>.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007.

TERAMOTO, E. T.; ESCOBEDO, J. F. Análise da frequência anual das condições de céu em Botucatu, São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.9, p.985-992, 2012.

THOM, H. C. S. A note on the Gamma Distribution. **Monthly Weather Review**, Washington, v,86, n.4, p. 117-22, 1958.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS/ABRH, 2007. 943 p. ISBN 978-85-7025-924-0.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.). Application of soil physics. New York: Academic Press, 1980. 385 p.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L.M.V.; LEIBMANN, B.; SILVA DIAS, M.A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, West Sussex, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4840>. Acesso em: 3 jul. 2020.