

## PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM TRÊS CIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JURUÁ

**JEFFERSON VIEIRA JOSÉ<sup>1</sup>; MOISÉS DAMASCENO SOUZA<sup>2</sup>; LÍVIA BRAZ PEREIRA<sup>3</sup>; TIMÓTEO HERCULINO DA SILVA BARROS<sup>4</sup>; HUGO MOTTA FERREIRA LEITE<sup>5</sup> E LUCAS DA COSTA SANTOS<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Centro multidisciplinar, UFAC, Campus Floresta, Rua Estrada da Canela Fina, KM 12 Gleba Formoso - São Francisco, CEP: 69895-000, Cruzeiro do Sul – AC, Brasil, e-mail: jfvieira@hotmail.com.br

<sup>2</sup>Centro multidisciplinar, UFAC, Campus Floresta, Rua Estrada da Canela Fina, KM 12 Gleba Formoso - São Francisco, CEP: 69895-000, Cruzeiro do Sul – AC, Brasil, e-mail: moisesdamasceno789@gmail.com

<sup>3</sup>Centro multidisciplinar, UFAC, Campus Floresta, Rua Estrada da Canela Fina, KM 12 Gleba Formoso - São Francisco, CEP: 69895-000, Cruzeiro do Sul – AC, Brasil, e-mail: lbraz6368@gmail.com

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia de Biosistemas, USP, ESALQ, Avenida Pádua Dias, 11, Bairro Agronomia, CEP: 13418-900, Piracicaba – SP, Brasil, e-mail: timoteo@usp.br

<sup>5</sup>Centro multidisciplinar, UFAC, Campus Floresta, Rua Estrada da Canela Fina, KM 12 Gleba Formoso - São Francisco, CEP: 69895-000, Cruzeiro do Sul – AC, Brasil, e-mail: hugo.ufac@gmail.com

<sup>6</sup>Departamento de Agronomia, UFVJM, Campus JK - Rodovia MGT 367, Km 583, nº5000 - Bairro Alto da Jacuba, CEP: 39100-000 – Diamantina – MG, Brasil, e-mail: lucas.santos@ufvjm.edu.br

### 1 RESUMO

A precipitação pluvial é um componente hídrico de extrema importância em diversas áreas, principalmente, para a agricultura. Seu estudo possui considerável relevância a fim de minimizar possíveis perdas, maximizar os ganhos, além de possibilitar viabilizar um manejo sustentável dos cultivos, bem como do uso da água. Neste estudo objetivou-se analisar a distribuição dos dados de precipitação pluvial em três estações meteorológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, bem como avaliar o seu ajuste a seis distribuições de probabilidade (Log-Normal, Weibull, Gama, Normal, Logística e Cauchy), considerando um período de 27 anos, calculados em períodos de 10, 20 e 30 dias, em níveis de probabilidade de 50, 70, 80, 90 e 95%. Observou-se que as distribuições Normal, Logística, Cauchy e Weibull foram as que apresentaram melhor ajuste para os dados de precipitação pluvial. Ao adotar o valor de 80% de probabilidade, foi possível notar que na maioria dos decêndios avaliados, o valor médio ficou abaixo da probabilidade de 80%, o que caracterizou subdimensionamento dos sistemas de irrigação.

**Palavras-chave:** chuva, irrigação, probabilidade.

**JOSÉ, J. J.; SOUZA, M. D.; PEREIRA, L. B.; BARROS, T. H. S.; LEITE, H. M. F.; SANTOS, L. C.**

**PROBABILITY OF PRECIPITATION OCCURRENCE IN THREE CITIES IN THE ALTO JURUÁ RIVER BASIN**

### 2 ABSTRACT

Precipitation is a water component of extreme importance in several areas, mainly for agriculture. Its study has considerable relevance to minimize possible losses, maximize gains,

in addition to enabling sustainable management of plantations and water use. The objective was to analyze the distribution of precipitation data in three meteorological stations in the upper Juruá river Basin, as well as to evaluate their adjustment to six probability distributions (Log-Normal, Weibull, Gama, Normal, Logistic and Cauchy), considering a period of 27 years, calculated over periods of 10, 20, and 30 days, at probability levels of 50, 70, 80, 90, and 95%. It was observed that the Normal, Logistic, Cauchy, and Weibull distributions showed the best fit for the rainfall data. When adopting the value of 80% of probability, it was possible to notice that in most evaluated ten years, the average value stayed below the probability of 80%, which characterizes an undersizing in the irrigation systems.

**Keywords:** rainfall, irrigation, probability.

### 3 INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é uma variável meteorológica com grande influência nas condições ambientais, bem como em várias atividades humanas (SILVA *et al.*, 2021). Sua estimativa é de grande importância para o monitoramento de eventos climáticos extremos e seus riscos associados, assim como para a caracterização do potencial de áreas para diferentes usos e projetos, como agricultura, energia, transporte, entre outros (MARINHO; RIVERA, 2021). Entender o comportamento pluviométrico é importante para o dimensionamento de projetos para a irrigação de culturas agrícolas; além disso, o conhecimento da precipitação em cada estação do ano permite o desenvolvimento de um planejamento e o manejo sustentável dos recursos hídricos (TUO *et al.*, 2016).

Antes de iniciar o dimensionamento de um sistema de irrigação, deve-se primeiro determinar se há necessidade de irrigar e se a fonte de água disponível é suficiente para atender a demanda da cultura. A decisão de irrigar ou não deve levar em consideração diversos fatores, entre os quais, o mais importante, por determinar a necessidade de irrigação da cultura em uma região hipotética, é a quantidade e a distribuição das chuvas, como também a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008). Segundo Vela, Dallacort e Nied (2007), o

conhecimento do histórico da precipitação pluvial é importante para o monitoramento dos impactos causados pelo excesso ou falta prolongada de chuvas em uma determinada região. Entender a precipitação pluvial, bem como sua dinâmica, é de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente, em condições tropicais (BARRETO *et al.*, 2015).

O monitoramento direto dos recursos hídricos e a modelagem hidrológica têm sido as principais abordagens para avaliar o potencial de recursos hídricos e alocá-los entre usos em uma bacia hidrográfica ou região (HERMAN *et al.*, 2018). É recomendada a realização de dimensionamentos de projetos hidráulicos, tomando como referência a precipitação pluvial provável, uma vez que o uso de valores médios pode resultar em superdimensionamentos, já que esses podem apresentar baixas probabilidades de ocorrência (LONGO; SAMPAIO; SUSZEK, 2006; OLIVEIRA; CARVALHO, 2003; SOCCOL; CARDOSO; MIQUELLUTI, 2010). A estimativa da chuva com determinado nível de probabilidade possui grande importância no planejamento agrícola, pois possibilita determinar a melhor época de preparo do solo, colheita, semeadura, aplicação de adubos, defensivos, e a lâmina suplementar de irrigação (AVILA; MELLO; VIOLA, 2009). O

conhecimento das probabilidades de ocorrência de chuva torna-se de grande relevância no planejamento de atividades relacionadas à agricultura e no monitoramento de processos hidrológicos concernentes à gestão de bacias hidrográficas (KIST; VIRGENS FILHO, 2015)

Segundo Barreto *et al.* (2015), o uso de funções de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que ela se relaciona, nesse contexto, algumas têm boa capacidade de estimação para pequeno número de dados, enquanto outras requerem uma série grande de observações. Em climas úmidos, a quantidade de chuva é suficiente para o consumo hídrico das culturas. Entretanto, devido a sua irregularidade de ocorrência, algumas culturas têm redução de produtividade por serem sensíveis ao déficit hídrico. Para produção de culturas de menor valor comercial, como grãos e pastagem, pode-se adotar um nível de probabilidade de 75%, enquanto para culturas de maior retorno econômico, deve-se trabalhar com probabilidades maiores (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

No dimensionamento de sistemas de irrigação, tem-se sugerido o uso da precipitação pluvial provável, que representa a quantidade mínima de precipitação com determinada probabilidade de ocorrência (FRIZZONE *et al.*, 2012). Para fins de irrigação, o ideal é trabalhar com precipitação pluvial provável em períodos de 5, 10 e 15 dias ou no máximo, mensais. Os níveis de probabilidade usuais são de 75% ou 80%, ou seja, com uma lâmina mínima de chuva que pode ser esperada em três a cada quatro anos (75%) ou em quatro a cada cinco anos (80%) em determinado período do ano (FRIZZONE *et al.*, 2012). A probabilidade de ocorrência de chuvas tem papel importante no planejamento de sistemas de irrigação, reduzindo os custos de aquisição e o risco de escassez de água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

O estudo da estimativa de precipitações pluviais prováveis é validado em diversas regiões do Brasil, uma vez que os projetos de irrigação são geralmente dimensionados em termos de irrigação total, visando cobrir as necessidades hídricas da planta, não se considerando a contribuição da precipitação pluvial (SAMPAIO; CORRÊA; BÔAS, 2000). Silva (1982) ressalta que ao se adotar a prática da irrigação suplementar de forma bem planejada, os resultados são menores investimentos, menores custos operacionais e, por consequência, a possibilidade de maiores lucros.

O estudo da distribuição de variáveis ao longo do tempo, como um meio de compreender os fenômenos meteorológicos, para determinar seus padrões de ocorrência e permitir uma previsibilidade razoável do comportamento climático de uma região, é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de diversas atividades agropecuárias e humanas (ASSIS *et al.*, 2004). Entretanto, ainda são escassos os trabalhos na região Norte do país, particularmente para a Bacia Hidrográfica do Alto Juruá.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo analisar o ajuste de seis distribuições de probabilidade à dados de precipitação pluvial, considerando um período de 27 anos distribuídos entre os municípios de Cruzeiro do Sul, Marechal Thaumaturgo e Porto Walter, calculados em períodos de 10, 20 e 30 dias com diferentes níveis de probabilidade, a fim de avaliar o dimensionamento em sistemas de irrigação para a região de estudo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Alto Juruá fica localizada nos extremos oeste do estado do Acre e sul do estado do Amazonas e ao leste da república do Peru (Figura 1), entre as coordenadas geográficas, 7 e 11° S

(Latitude) e 74 a 70° W (Longitude). O clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é definido como do tipo Tropical equatorial (Af) (ALVARES *et al.*, 2013), com média de precipitação pluviométrica anual acumulada igual a 2.206 mm. A temperatura média anual está em torno de 24,5 °C (MACÊDO *et al.*, 2013).

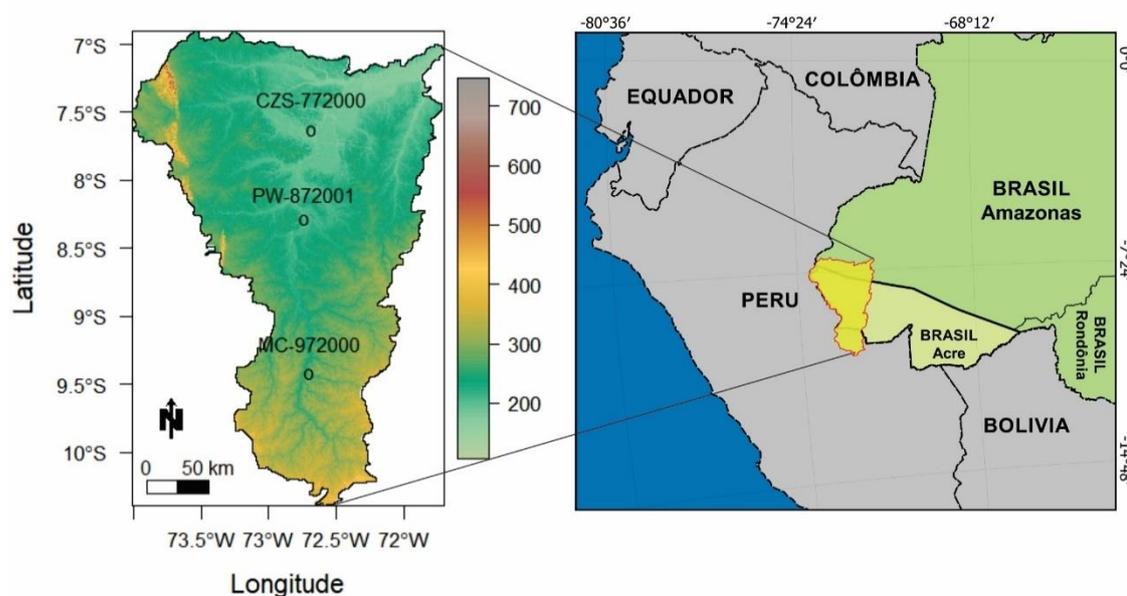
Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao portal HidroWeb do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. As coordenadas geográficas das estações pluviométricas e suas respectivas séries histórica registradas encontram-se na Tabela 1 e Figura 1.

**Tabela 1.** Localização geográfica e série histórica das estações pluviométricas consideradas no estudo (Bacia do Alto Juruá, Acre)

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série (anos)	Período
CZS	-7.611	-72.681	170	16	1975-1990
PW	-8.267	-72.734	211	20	1983-2002
MC	-9.402	-72.702	283	12	1991-2002

CZS Cruzeiro do Sul; PW Porto Walter; MC Marechal Thaumaturgo

**Figura 1.** Localização das estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Alto Juruá



Os valores de precipitação pluvial diária foram acumulados em períodos de 10, 20 e 30 dias. As análises de distribuição de frequência das precipitações prováveis acumuladas foram ajustadas para seis distribuições de probabilidade, como segue: (i) Log-Normal, (ii) Weibull, (iii) Gama, (iv) Normal, (v) Logística e (vi) Cauchy (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A precipitação pluvial provável acumulada para os níveis de probabilidade iguais a 50, 70, 80, 90 e 95%, corresponde

aos tempos de retorno (T) de 2, 3, 5, 10 e 20 anos, respectivamente. Os parâmetros das distribuições de probabilidade foram estimados utilizando-se o método da máxima verossimilhança. A escolha da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados foi mediante o menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). Para verificar o ajuste dos dados de precipitação pluvial às distribuições de probabilidade, aplicou-se o teste de Anderson-Darling a um nível de 5% de

significância (NAGHETTINE; PINTO, 2007).

Foi utilizado o *software* livre R Statistical®, executando-se seus pacotes inserção e análise dos dados tabulados. A manipulação dos dados de precipitação pluvial acumulada e o ajuste dos modelos de distribuição foi realizado por meio do pacote *fitdistrplus*, e o teste de aderência, com o pacote *ADGofTests*. Os gráficos foram criados com os pacotes: *ggplot2*, *ggpmisc*, *tidyverse*, *plyr*, *raster*, *geobr*, *rasterVis*, *fields*, *geosphere* e *latticeExtra*.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição anual das precipitações pluviais nas regiões da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, (Figura 2D) indicam que as estações de Porto Walter e Cruzeiro do Sul apresentaram maior quantidade de anos com precipitação pluvial acima da média de 2.071,1 mm. Marechal Thaumaturgo apresentou os menores acumulados de precipitação, isso indica que as cidades localizadas no baixo Juruá tendem a ter maiores níveis de precipitações acumuladas comparadas a Marechal Thaumaturgo.

A estação de Cruzeiro do Sul teve precipitação pluvial média anual de 2.083,5 mm, levando-se em conta os 15 anos avaliados, sendo o ano de 1990 o mais chuvoso da região com uma precipitação anual superando a média da estação com 2.878,6 mm; o ano de 1985 apresentou a menor precipitação anual com 1.576,5 mm.

Na estação de Porto Walter, a precipitação média anual foi de 2.444,54 mm, o ano mais chuvoso foi 2002 com precipitação de 3.235,7 mm, superando a média da região; o ano menos chuvoso foi 1988, com uma precipitação de 1.948,2 mm. Marechal Thaumaturgo apresentou precipitação média anual de 2.089,2 mm, sendo o ano mais chuvoso 1993 com uma precipitação de 2.738,6 mm e o menos

chuvoso o ano 1998, com 1.700,7 mm (Figura 2D).

Avaliando a distribuição da precipitação pluviométrica em escala mensal, observa-se que para a Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, pode-se dividir os índices de precipitação em dois períodos, o período chuvoso e o período seco (Figura 2C). Conforme destacam Macêdo *et al.* (2013), o clima do estado do Acre é quente e úmido com temperatura mínima anual em torno de 24 °C e presença de duas estações distintas: uma seca (verão Amazônico, que geralmente ocorre entre os meses de maio e setembro) e outra chuvosa (inverno Amazônico, que geralmente ocorre entre os meses de outubro e abril), com umidade relativa do ar acima de 80%.

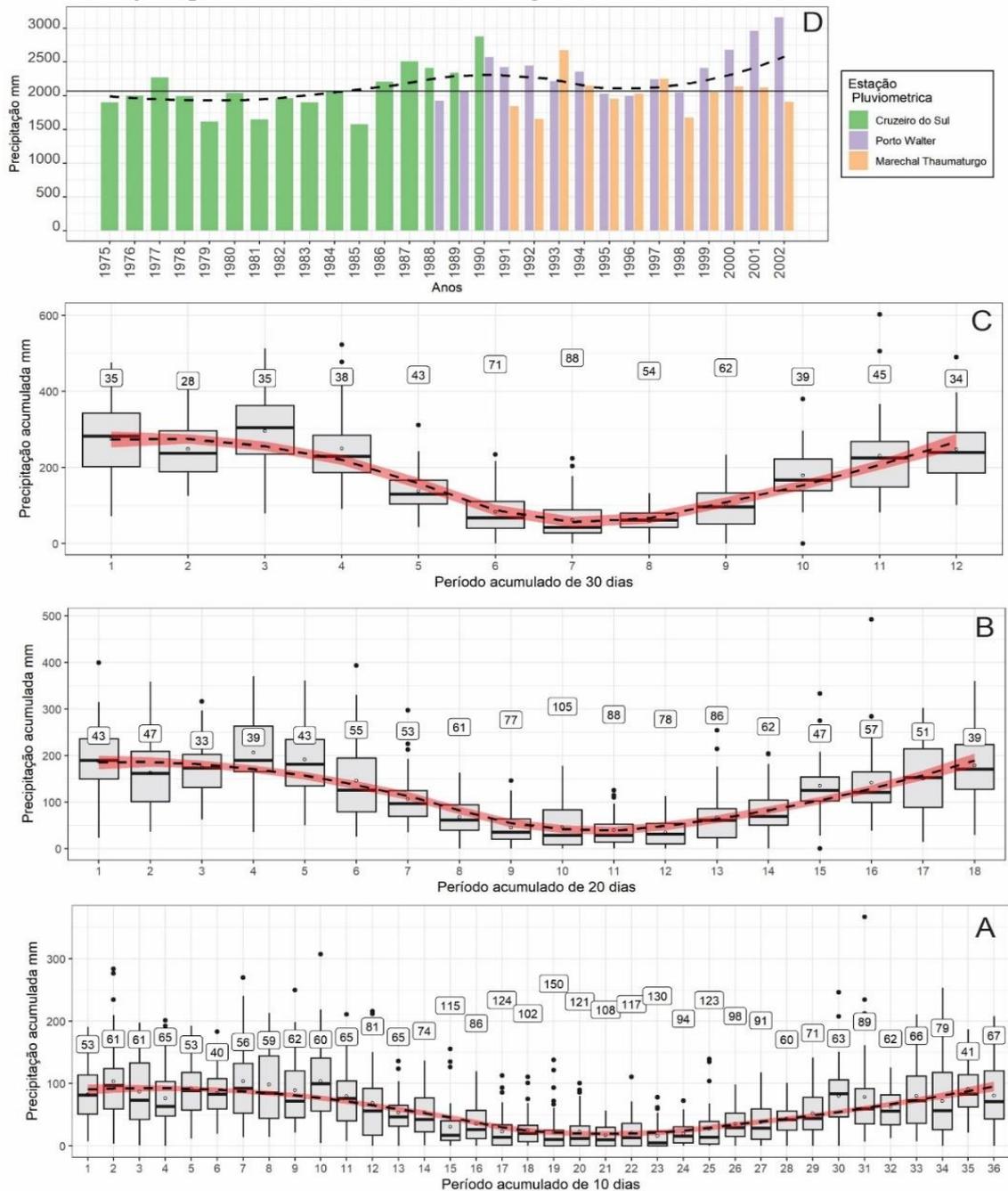
O período com maiores índices de precipitação pluviométrica na região, que se estende entre os meses de outubro a abril, apresentou precipitações mensais oscilando entre 179,3 mm e 296,1 mm, e considerando-se esse mesmo período, verificou-se precipitação acumulada de 1.726 mm, o que representa cerca de 79,4% da precipitação anual. Esse período com os maiores valores de precipitação pluvial se apresenta com uma menor variabilidade dos dados, ou seja, os índices de precipitação mostraram-se consistentes em relação aos meses e as outras estações. O mês de março se destacou apresentando os maiores valores de precipitação, chegando a índices de precipitação de 286,1 mm (Figura 2C).

A estação das secas compreende os meses de maio a setembro, com níveis de chuvas mensais variando de 59,6 mm a 138,5 mm, podendo alcançar um acumulado de 446,5 mm, o que representa 20,6% mm do índice de precipitação pluvial anual. Os meses que fizeram parte dessa estação das secas, além de apresentarem baixos níveis de precipitação pluvial, também mostraram maior variabilidade dos dados comparados ao período úmido, sendo julho o mês que obteve maior variabilidade (88% de coeficiente de variação), e agosto o de menor

índice de precipitação, sendo registrado 59,6 mm. Os meses críticos para o regime hídrico são os meses de junho, julho e agosto, que apresentaram uma média de 68,36 mm, elevando-se nos meses de maio e setembro, considerados meses de transição (Figura 2C). Segundo Duarte (2005), a região da

Amazônia sofre influência de diversos fenômenos hidroclimáticos, sendo que o estado do Acre está localizado em um ponto onde há uma considerável variabilidade interanual, em especial da precipitação pluviométrica.

**Figura 2.** Distribuição dos valores médios de precipitação pluviométrica na escala de 10 (a), 20 (b) dias, mensal (c) e total anual (d) observadas nas séries históricas para três estações pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Alto do Juruá, Acre.



Outro ponto que demonstra essa divisão das estações na Bacia Hidrográfica do Alto Juruá entre as mais chuvosas e as mais secas é a média de precipitação pluvial em cada período, dessa forma, percebe-se que a partir do mês de abril (final da estação das chuvas), ocorre um decréscimo nos valores das médias, mostrando que nos meses seguintes, os índices de precipitação serão menores que os anteriores, isso acontece até o mês de setembro, após esse mês, as médias pluviométricas voltam a movimentar-se para cima, dando início à estação das chuvas. Com isso, pode-se definir os meses de abril e setembro como meses de transição entre as estações (Figura 2C).

Com relação à distribuição decendial da Figura 2A, observa-se que a partir do décimo terceiro decêndio, com média 53,4 mm, ocorre um decréscimo nos níveis de precipitação pluvial, sendo que a média dos dias seguintes são menores que as anteriores até o vigésimo sexto decêndio, quando as médias voltam a ser superiores. Esse período de dias agrupados em decêndios estão associados às estações úmidas e secas da região, sendo que o décimo terceiro decêndio se localiza no final do mês de abril e no início de maio, ou seja, o fim da estação úmida e o início da estação das secas com baixos níveis de precipitação pluvial, enquanto, o vigésimo sexto decêndio com uma média de 35,8 mm está localizado no mês de setembro, que se caracteriza como o fim da estação das secas e o início da estação úmida, sendo a partir desse ponto que os níveis de precipitação pluvial começam a aumentar.

De acordo com a Figura 2A, o período no qual ocorre maior variabilidade dos dados, além dos menores índices de precipitação pluvial está localizado no espaço de tempo do décimo sétimo decêndio, ao vigésimo quinto decêndio, que compreende os meses de junho e agosto, respectivamente. Nesse período, o acumulado da precipitação decendial não

chegou a ultrapassar 50 mm. Em 16 dos 36 decêndios, o equivalente a 44,4%, observou-se valores acima de 100 mm, sendo o sétimo e o vigésimo terceiro decêndios àqueles que apresentaram maiores e menores médias de precipitação pluvial, com valores iguais a 103,8 mm e 15,8 mm, respectivamente.

A variabilidade dos índices de precipitação pluvial durante o período seco, ocasiona dispersão considerável dos valores médios de precipitação esperados para suprir a demanda hídrica das culturas agrícolas. Segundo Dallacort *et al.* (2011), a variabilidade da precipitação pluvial acaba sujeitando os agricultores a uma série de desafios, seja pelo excesso ou pelos baixos níveis de precipitação. Essas inconveniências resultam em variações anuais do rendimento agrícola, bem como no custo de produção (ELY; ALMEIDA; NETO, 2003). Conforme Assad, Masutomo e Assad (1992), os valores médios de precipitação pluvial não são necessariamente uma boa medida de tendência para representar a quantidade pluviométrica no planejamento das atividades agrícolas.

Na Figura 3A, observa-se a ocorrência mensal de dias secos e chuvosos para as três estações pluviométricas estudadas da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá. No período entre os meses de outubro e abril, registrou-se os meses com mais dias chuvosos, sendo Cruzeiro do Sul a estação com maior número de dias chuvosos, com médias mensais fluando de 10 a 26 dias, sendo seguida por Marechal Thaumaturgo, que apresentou médias variando de 11 a 26. A estação de Porto Walter (Figura 3A) apresentou o maior número de dias secos em todos os meses do ano, com médias oscilando de 21 a 31 dias, sendo os meses de junho, julho e agosto caracterizados como o período mais crítico de precipitação pluvial por apresentarem os maiores índices de dias secos.

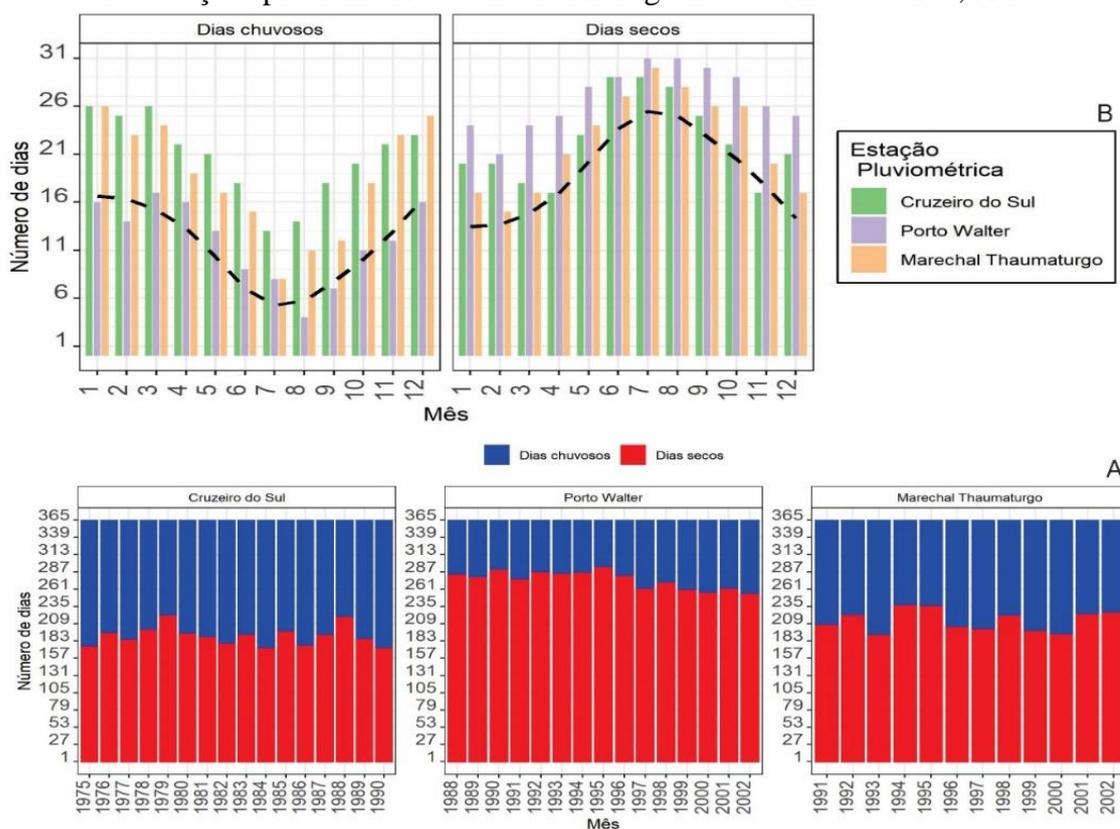
Segundo Silva *et al.* (2021), a variabilidade dos índices de precipitação

pode estar relacionada aos padrões de circulação atmosférica prevalentes na Região Amazônica, que são influenciados por distúrbios em escala regional e global. Esses distúrbios interferem no regime hidrológico da região em sua escala temporal (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007; NÓBREGA, 2014).

Na Figura 3B, estão apresentadas as médias anuais de dias secos e chuvosos para as três estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá. A estação de Cruzeiro do Sul apresentou número de dias chuvosos fluando entre 143 e 193 dias, com o ano de 1990 se destacando com o maior número de dias chuvosos (193 dias); já o ano de 1979, apresentou a maior

quantidade de dias secos (221 dias). Marechal Thaumaturgo junto com Cruzeiro do Sul apresentou mais dias chuvosos do que secos, sendo o ano de 1993 àquele com mais dias chuvosos (173 dias) e o ano com maior número de dias secos foi 1995, no qual registrou-se 236 dias sem ocorrência de precipitação pluvial. A estação de Porto Walter apresentou mais dias secos do que chuvosos e, assim, é a cidade com maiores períodos de secas quando comparada as demais estações pluviométricas analisadas, sendo o ano de 1995 o mais seco, com 294 dias e 2002 o que apresentou o maior número de dias chuvosos, chegando a 111 dias.

**Figura 3.** Ocorrência anual (a) e mensal (b) de dias chuvosos e secos nas séries históricas para três estações pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Alto do Juruá, Acre



Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os resultados encontrados para as distribuições de probabilidade que melhor se ajustaram aos dados de precipitação pluvial da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá em seus

devidos dias acumulados. Ressalta-se que as seis distribuições foram aceitas em todas as estações e dias acumulados segundo o teste de aderência Anderson-Darling, significativo com  $p < 0,05$ .

**Tabela 2.** Parâmetros do melhor modelo de distribuição de probabilidade utilizado na análise de frequência da precipitação pluvial provável na escala de 10 dias para três estações pluviométricas da Bacia Hidrográfica do Alto do Juruá, Acre.

Esc10	F	p1	p2	Esc 10	F	p1	p2	Esc 10	F	p1	p2
Estação 772000 – Cruzeiro do Sul											
1	N*	82,0	46,1	14	N*	41,3	27,1	27	N*	46,3	38,9
2	N*	76,6	43,1	15	LO*	34,3	17,5	28	N*	50,3	23,9
3	N*	78,2	55,9	16	N*	30,4	20,5	29	LO*	51,6	18,5
4	N*	84,0	42,6	17	N*	29,8	31,7	30	LO*	79,2	28,7
5	N*	74,7	38,8	18	N*	15,4	15,0	31	N*	57,8	30,8
6	LO*	87,6	20,4	19	C*	9,2	9,7	32	LO*	64,4	15,6
7	N*	79,8	39,6	20	LO*	20,6	10	33	LO*	67,3	27,2
8	N*	89,1	53,3	21	C*	9,0	6,9	34	LO*	67,6	35,4
9	N*	91,9	45,8	22	LO*	16,7	8,1	35	N*	75,8	34,6
10	N*	81,3	38,0	23	N*	28,4	23,7	36	N*	70,3	50,1
11	LO*	68,7	22,5	24	LO*	20,1	11,7	37	C*	45,6	13,7
12	N*	65,1	43,3	25	C*	20,5	13,6				
13	LO*	58,1	18,3	26	N*	34,0	24,2				
Estação 972000 – Marechal Thaumaturgo											
1	N*	84,8	42,7	14	LO*	54,1	23,7	27	N*	29,6	25,1
2	C*	120	16,3	15	C*	10,7	6,1	28	LO*	34,7	11,6
3	N*	68,5	38,5	16	N*	35,4	27,6	29	N*	48,8	36,7
4	C*	48,6	8,41	17	C*	7,21	6,3	30	N*	89,7	50,9
5	N*	100,4	55,3	18	N*	23,9	19,9	31	N*	102,7	62,3
6	N*	73,2	29,6	19	C*	8,26	6,7	32	LO*	38,3	15,7
7	N*	126,1	64,9	20	C	1,22	3,1	33	N*	66,5	38,6
8	N*	78,6	52,8	21	N*	17,6	18,2	34	N*	76,4	57,1
9	C*	48,9	11,7	22	C	0,89	4,4	35	N*	86,2	22,3
10	N*	99,7	56,1	23	C*	1,91	3,2	36	N*	73,9	51,4
11	LO*	62,4	21,6	24	N*	14,6	13,3	37	LO*	45,7	18,6
12	N*	51,7	43,7	25	C*	4,68	6,4				
13	LO*	36,7	14,2	26	N*	34,8	11,6				
Estação 872001 – Porto Walter											
1	N*	81,7	40,2	14	N*	63,4	43,5	27	N*	35,9	32,9
2	LO*	105,5	37,9	15	LO*	23,3	15,4	28	N*	40,4	28,5
3	N*	111,2	48,4	16	N*	41,9	39,5	29	N*	54,3	39,3
4	N*	81,8	62	17	LO*	13,3	12,5	30	N*	66,7	38,8
5	N*	103,5	44,2	18	LO*	32,3	18,1	31	LO*	61,5	40,5
6	N*	86,6	31,2	19	LO*	17,8	22,6	32	N*	74,0	45
7	N*	111,6	59,7	20	LO*	15,4	14,4	33	N*	98,2	60,5
8	N*	123,6	57,4	21	N*	16,6	18,9	34	N*	65,6	45,2
9	N*	93,9	57,3	22	N*	21,5	24,9	35	N*	111,5	40,5
10	N*	131,1	75,2	23	LO*	5,3	7,2	36	N*	96,9	54,4
11	N*	97,3	62,4	24	N*	21,4	19,4	37	N*	73,1	41,8
12	N*	86,3	68,2	25	N*	23,1	22,8				
13	LO*	53,4	18,1	26	LO*	28,6	21,7				

Esc10 Escala de 10 dias; 1 (01-01 a 10-01); 2 (10-01 a 19-01); 3 (20-01 a 29-01); 4 (30-01 a 08-02); 5 (09-02 a 18-02); 6 (19-02 a 28-02); 7 (01-03 a 10-03); 8 (10-03 a 19-03); 9 (20-03 a 29-03); 10 (30-03 a 08-04); 11 (09-04

a 18-04); 12 (19-04 a 28-04); 13 (29-04 a 08-05); 14 (09-05 a 18-05); 15 (19-05 a 28-05); 16 (29-05 a 07-06); 17 (08-06 a 17-06); 18 (18-06 a 27-06); 19 (28-06 a 07-07); 20 (08-07 a 17-07); 21 (18-07 a 27-07); 22 (28-07 a 06-08); 23 (07-08 a 16-08); 24 (17-08 a 26-08); 25 (27-08 a 05-09); 26 (06-09 a 15-09); 27 (16-09 a 25-09); 28 (26-09 a 05-10); 29 (06-10 a 15-10); 30 (16-10 a 25-10); 31 (26-10 a 04-11); 32 (05-11 a 14-11); 33 (15-11 a 24-11); 34 (25-11 a 04-12); 35 (05-12 a 14-12); 36 (15-12 a 24-12); 37 (25-12 a 31-12); F Função de distribuição de probabilidade; N Normal (p1 – média e p2 – desvio padrão); LO Logística (p1 – log (média) e p2 – log (desvio padrão)); C Cauchy (p1 – locação e p2 – escala); \* Teste de aderência Anderson-Darling significativo ( $p < 0,05$ )

**Tabela 3.** Parâmetros do melhor modelo de distribuição de probabilidade utilizado na análise de frequência da precipitação pluvial provável na escala de 20 dias para as três estações pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Alto do Juruá, Acre.

Esc 20	F	p1	p2	Esc 20	F	p1	p2	Esc 20	F	p1	p2
Estação 772000 – Cruzeiro do Sul											
1	N*	161,8	76,1	7	LO*	95,2	22,3	13	N*	69,4	54
2	LO*	151,3	46,7	8	LO*	67,2	16,9	14	N*	96,1	61,9
3	LO*	157,5	27,1	9	N*	35,6	27,9	15	C*	117,8	17,9
4	N*	179,7	77,8	10	LO*	40	16,5	16	C*	115,2	19,8
5	LO*	160,5	33,3	11	N*	40,5	33,8	17	N*	142,9	75,4
6	LO*	130,2	33,3	12	N*	48,7	27,9	18	N*	164,1	71,9
Estação 972000 – Marechal Thaumaturgo											
1	N*	213,4	64,2	7	C*	75,9	16,8	13	LO*	57,9	31,3
2	N*	128,5	55,4	8	N*	58,1	34,4	14	N*	67,6	28,3
3	N*	173,7	60,5	9	N*	43,9	30,9	15	N*	137,7	68,2
4	LO*	196,6	38,9	10	C*	12,4	9,92	16	N*	145,1	62,5
5	N*	180,4	82,9	11	LO*	37,9	17,2	17	N*	143,1	67,8
6	C*	102,3	21,9	12	N*	23,3	14,5	18	N*	160,2	47,3
Estação 872001 – Porto Walter											
1	LO*	188,3	46,1	7	N*	119,2	57,1	13	LO*	56,9	27,2
2	N*	193,1	67,5	8	N*	71,8	52,1	14	N*	76,3	45,4
3	N*	190,2	56,2	9	N*	55,8	39,7	15	N*	121,1	55
4	N*	235,2	78,3	10	N*	47,9	58,4	16	C*	117,5	39,5
5	N*	225	88,8	11	LO*	32,2	20,7	17	N*	163,9	81,6
6	N*	183,6	95,8	12	N*	29,8	27,4	18	N*	208,4	71,3

Esc20 Escala de 20 dias; 1 (01-01 a 10-01); 2 (10-01 a 19-01); 3 (20-01 a 29-01); 4 (30-01 a 08-02); 5 (09-02 a 18-02); 6 (19-02 a 28-02); 7 (01-03 a 10-03); 8 (10-03 a 19-03); 9 (20-03 a 29-03); 10 (30-03 a 08-04); 11 (09-04 a 18-04); 12 (19-04 a 28-04); 13 (29-04 a 08-05); 14 (09-05 a 18-05); 15 (19-05 a 28-05); 16 (29-05 a 07-06); 17 (08-06 a 17-06); 18 (18-06 a 27-06), F Função de distribuição de probabilidade; N Normal (p1 – média e p2 – desvio padrão); LO Logística (p1 – log (média) e p2 – log (desvio padrão)); C Cauchy (p1 – locação e p2 – escala); \* Teste de aderência Anderson-Darling significativo ( $p < 0,05$ )

**Tabela 4.** Parâmetros do melhor modelo de distribuição de probabilidade utilizado na análise de frequência da precipitação pluvial provável mensal para as três estações pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Alto do Juruá, Acre

Escala de 30 dias	Cruzeiro do Sul			Marechal Thaumaturgo			Porto Walter		
	F	p1	p2	F	p1	p2	F	p1	p2
Jan	WE*	2,7	272,2	WE*	3,6	313,9	N*	305,1	89,6
Fev	WE*	4,6	260,4	WE*	4,4	256,9	N*	272	77,5
Mar	WE*	2,6	307,7	LN*	5,6	0,3	N*	329,1	81,6
Abr	LN*	5,3	0,4	G*	18,6	0,1	N*	314,7	100,8
Mai	LO*	138,5	20	LN*	4,7	0,5	N*	149	65,6
Jun	WE*	1,1	75,1	WE*	1,51	87,9	N*	97,8	62,5
Jul	WE*	1,4	64,2	WE*	1,21	70,8	C*	31	16,6
Ago	LO*	79,1	15,8	WE*	1,6	51,3	N*	51,4	26,6
Set	WE*	1,8	138,2	WE*	2	94,5	N*	97,6	60,9
Out	LN*	5,2	0,3	WE*	3,1	197,1	LO*	164,8	35,3
Nov	LN*	5,3	0,4	G*	6,9	0,1	C*	233,7	40,7
Dez	WE*	3,4	357,8	G*	8,7	0,1	LO*	265,4	49,1

F Função de distribuição de probabilidade; N Normal (p1 – média e p2 – desvio padrão); LN Log-Normal (p1 – log (média) e p2 – log (desvio padrão); C Cauchy (p1 – locação e p2 – escala); LO Logística (p1 – log (média) e p2 – log (desvio padrão); WE Weibull (Par1 – escala e Par2 – forma); Gama (Par1 – taxa e Par2 – forma), \* Teste de aderência Anderson-Darling significativo ( $p < 0,05$ ),

De acordo com as Tabelas 2, 3 e 4, as distribuições de probabilidade se ajustaram aos dados de precipitação pluvial em todos os períodos de dias acumulados, dessas, se destacaram a Normal, a Logística e a Cauchy, que se apresentaram no período de 10 e 20 dias acumulados (Tabela 2 e 3), Além disso, é importante destacar que essas distribuições se mostraram presentes e se adequaram aos dados da estação de Porto Walter no período acumulado de 30 dias, todas com resultados significativos pelo teste de aderência Anderson-Darling ( $p < 0,05$ ),

Desta forma, diante dos dados apresentados, pode-se confirmar que as distribuições Normal, Logística e Cauchy tendem a apresentar um melhor ajuste aos dados em períodos de dias acumulados inferior à escala de 30 dias, tendo em vista que, quando testadas a um período acumulado maior, só se ajustaram a uma das estações da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, No entanto, as distribuições Weibull, Log-Normal e Gama apresentaram melhor ajuste apenas aos dados referentes a 30 dias

acumulados (Tabela 4), ou seja, quando trabalhadas em períodos maiores, essas distribuições de probabilidade tendem a ter um melhor ajuste aos dados de precipitação pluvial,

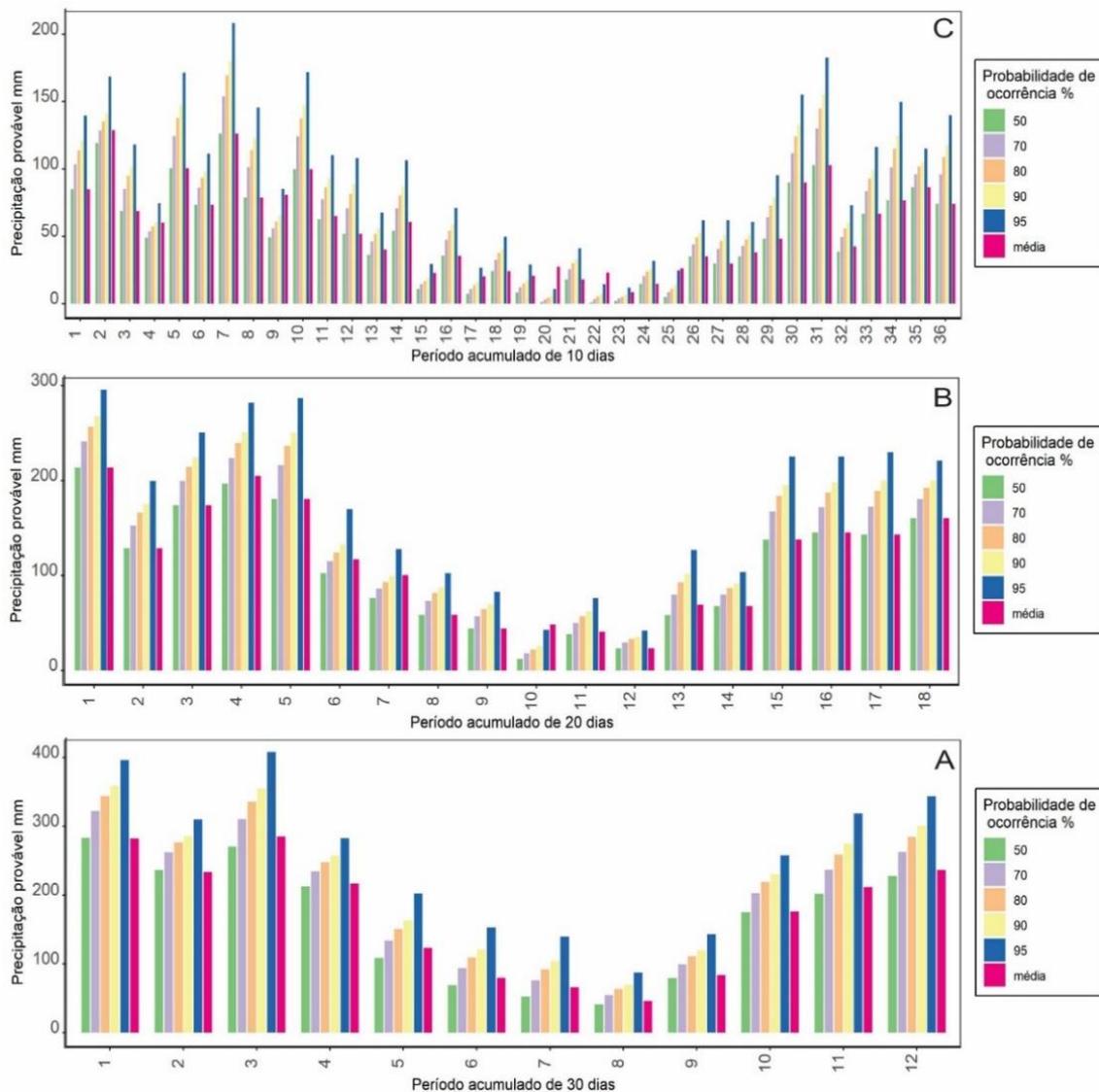
Notou-se que dos 198 testes realizados com os dados de precipitação pluvial da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, somente dois não foram aceitos, sendo eles encontrados no período acumulado de 10 dias, especificamente nos vigésimo e vigésimo segundo decêndios. A distribuição de probabilidade que obteve melhor ajuste à maioria das séries de precipitação pluvial foi a Normal, em 30, 42 e 33 casos para as estações Cruzeiro do Sul, Porto Walter e Marechal Thaumaturgo, respectivamente; seguida pela Logística com 19 e 15 casos para as estações Cruzeiro do Sul e Porto Walter, respectivamente. Quanto a distribuição de Weibull, esta ajustou-se em 7 e 8 casos referentes a dados das estações Cruzeiro do Sul e Marechal Thaumaturgo, respectivamente. Ao consideramos as três estações pluviométricas estudadas, a distribuição Normal apresentou melhor

ajuste em 105 séries de dados, sendo todos significativos pelo teste de aderência de Anderson-Darling.

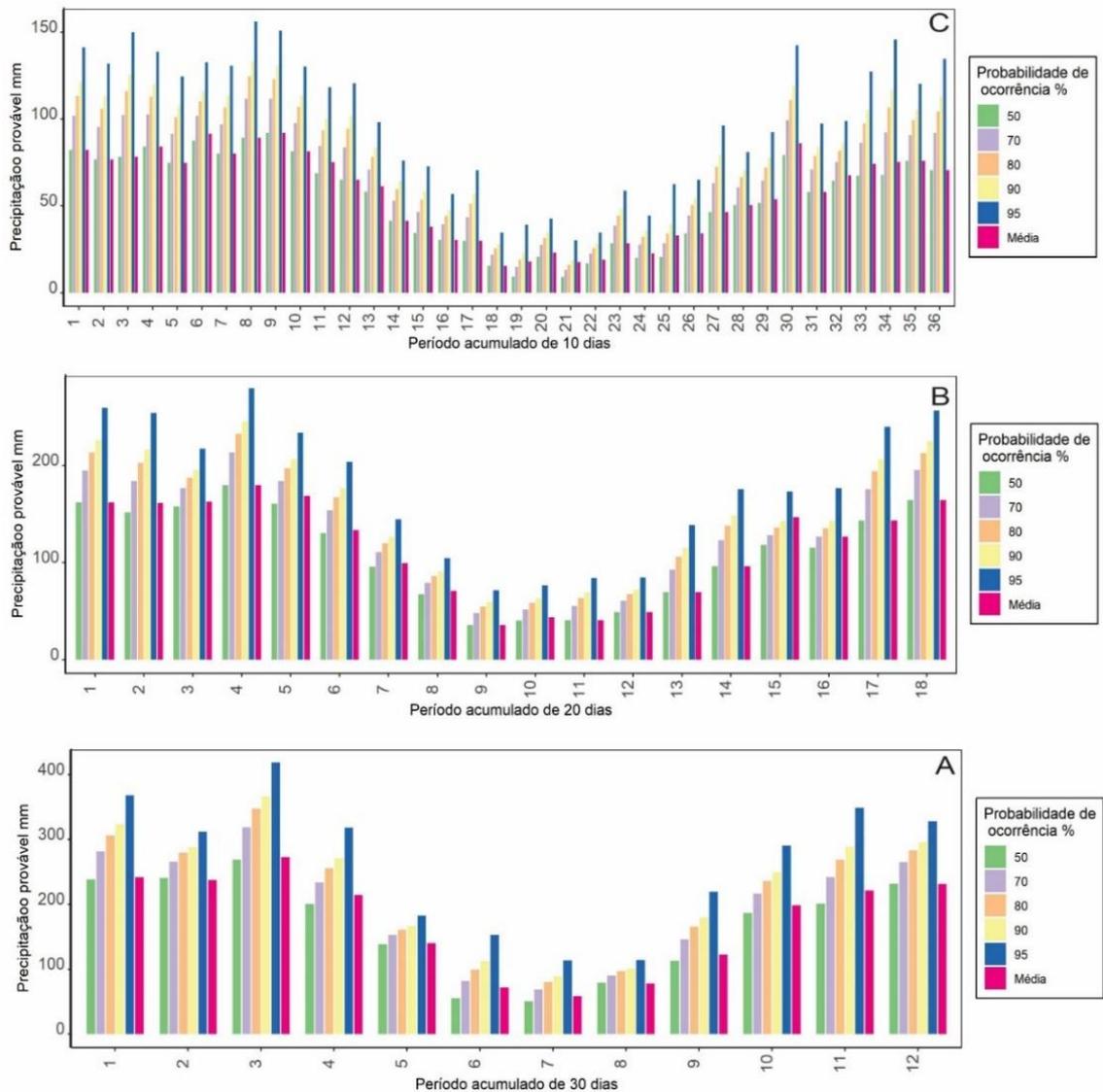
Em um período acumulado de 10 dias, e considerando uma situação com período de retorno igual a 5 anos para a estação de Marechal Thaumaturgo, há 80% de probabilidade de que a precipitação pluvial no 23º decêndio seja maior ou igual a 8,40 mm, ou ainda, em quatro de cada

cinco anos, o valor da precipitação em agosto deverá ser, no mínimo, igual a 8,40 mm (Figura 3). É a mesma situação nos decêndios 21º (17,62 mm) e 23º (8,42 mm) em Cruzeiro do Sul (Figura 4) e Porto Walter (Figura 5), respectivamente. Destaca-se que na estação Cruzeiro do Sul, o valor mínimo de precipitação provável se dá no mês de julho.

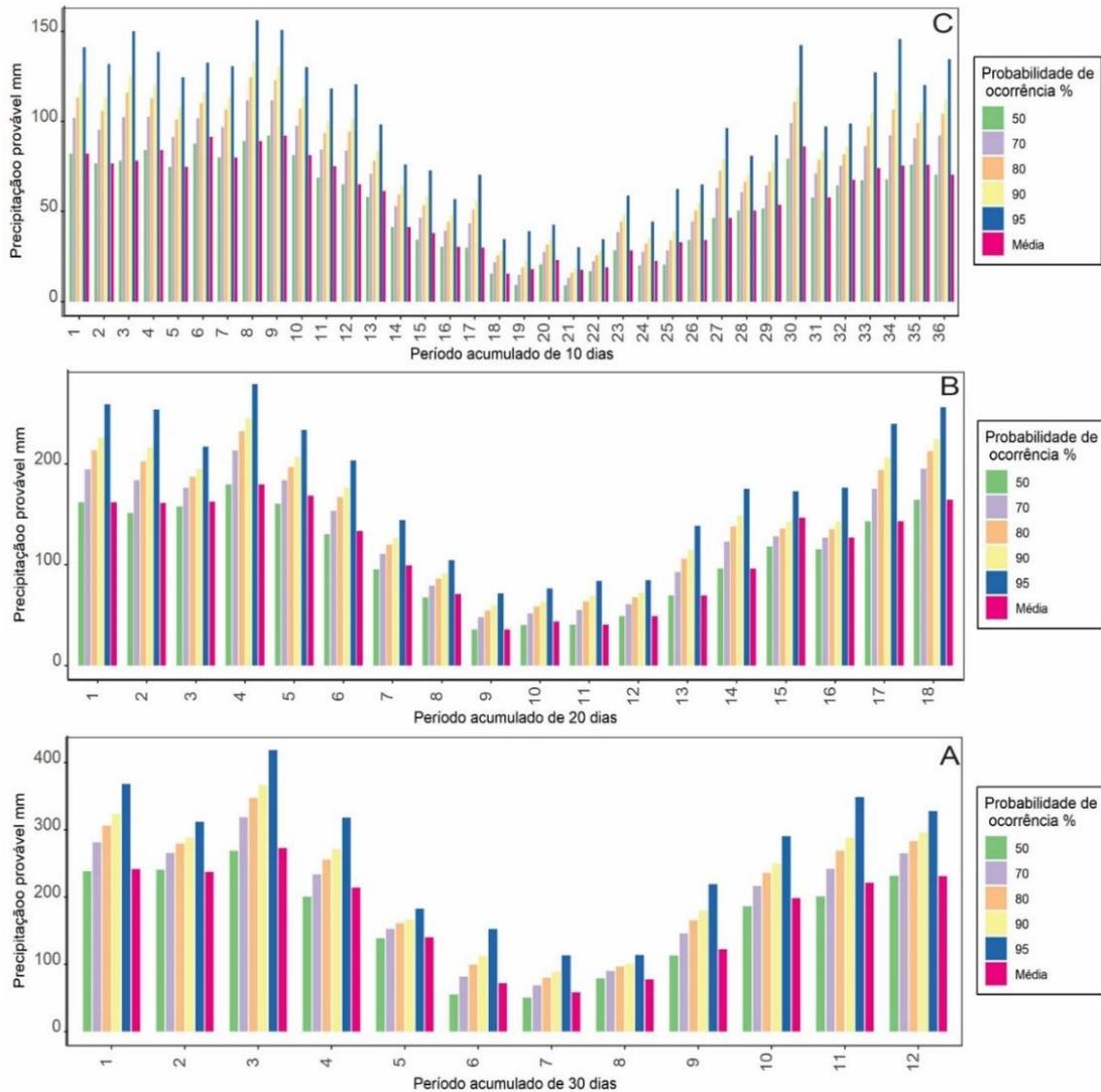
**Figura 3.** Precipitação pluvial provável e média de dias acumulados de 10, 20, e 30 com probabilidade de ocorrência de 50, 70, 80, 90 e 95% para a estação pluviométrica de Marechal Thaumaturgo, Acre



**Figura 4.** Precipitação pluvial provável e média de dias acumulados de 10, 20, e 30 com probabilidade de ocorrência de 50, 70, 80, 90 e 95% para a estação de Cruzeiro do Sul, Acre.



**Figura 5.** Precipitação pluvial provável e média de dias acumulados de 10, 20, e 30 com probabilidade de ocorrência de 50, 70, 80, 90 e 95% para a estação de Porto Walter, Acre



Nota-se ainda que, exceto no 15°, 17°, 19°, 20°, 22°, 23° e 25° decêndios, a média ficou abaixo da probabilidade de 80% em relação à estimativa dos valores de precipitação pluvial na estação Marechal Thaumaturgo (Figura 3), o que caracterizaria um subdimensionamento nos sistemas de irrigação caso fosse adotado o valor médio de precipitação. Nas estações Cruzeiro do Sul (Figura 4) e Porto Walter (Figura 5), essa exceção ocorreu somente no decêndio 21° para ambas as estações,

Em um período acumulado de 30 dias, ao considerar 5 anos como período de retorno, para a estação de Cruzeiro do Sul (Figura 4), existe 80% de probabilidade de que a precipitação pluvial no mês de março seja maior ou igual a 300 mm, ou ainda que, em quatro de cada cinco anos, o valor da precipitação em março poderá ser, no mínimo, igual a 300 mm. Já para a estação de Marechal Thaumaturgo (Figura 3), considerando-se 5 anos como período de retorno, existe 80% de probabilidade de que a precipitação nos meses de janeiro e março

seja maior ou igual a 300 mm, ou ainda que, em quatro de cada cinco anos, o valor da precipitação em janeiro e março deverá ser, no mínimo, igual a 300 mm, Para a estação de Porto Walter (Figura 5), considerando os mesmos parâmetros das outras duas estações, existe 80% de probabilidade de que a precipitação nos meses de janeiro, março e abril seja maior ou igual a 300 mm, ou ainda que, em quatro de cada cinco anos, o valor da precipitação em janeiro, março e abril deverá ser, no mínimo, igual a 300 mm,

Observa-se que, exceto nos meses de janeiro e fevereiro, o valor médio da precipitação foi maior do que a probabilidade de 50%. Ao considerarmos 80% de probabilidade, que é o valor recomendado a ser adotado em projetos de irrigação, nota-se que há diferenças significativas entre o nível de probabilidade recomendado e o valor médio, em que o valor médio apresenta estimativas inferiores quando comparado ao nível de 80% de probabilidade em todos os meses do ano, com exceção do mês de julho na estação de Porto Walter, onde o valor médio da precipitação foi maior do que o nível de 80% de probabilidade, Neste caso, quando se adota o valor médio para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, ocorre o subdimensionamento dos sistemas.

Percebe-se também, que com o aumento do nível de probabilidade, a precipitação pluvial provável também aumenta para todos os períodos acumulados analisados. Vieira *et al.* (2010), ao analisarem dados de precipitação pluvial mensal para a cidade de Diamantina, MG, também observaram aumento da precipitação provável conforme o aumento do nível de probabilidade.

Para as estações pluviométricas de Cruzeiro do Sul e Marechal Thaumaturgo, observa-se que nos meses de abril e agosto, a precipitação pluvial provável tende a diminuir, e que a partir do mês de setembro, ela tende a aumentar. Na estação de Porto Walter, a diminuição na precipitação pluvial

provável se dá a partir do mês de maio. Segundo Fietz *et al.* (1998), ao utilizar-se períodos de análise mais reduzidos (decêndios e quinzenas), há maior risco de os valores médios de precipitação subdimensionar os projetos. Nesse caso, analisando todos os períodos acumulados estudados, nosso entendimento é de que quando se adota o valor médio, nota-se que esse pode subestimar o dimensionamento dos sistemas. Nos períodos secos, os valores médios superestimam os valores prováveis e, por fim, nos períodos úmidos, os valores médios subestimam os valores prováveis com probabilidade acima de 50%.

## 6 CONCLUSÃO

As distribuições de probabilidade Normal, Logística, Cauchy e Weibull apresentaram melhor ajuste para os dados de precipitação pluvial da Bacia Hidrográfica do Alto Juruá, estado do Acre.

Os valores de precipitação pluviométrica estimados sugerem que sistemas de irrigação planejados a partir do valor médio dos registros estão propensos a maior probabilidade de subdimensionamento.

## 7 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pelo auxílio financeiro de bolsa PIBI.

## 8 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 508 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G.

**Köppen's climate classification map for Brazil**, Meteorologische Zeitschrift, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ASSAD, E. D.; MASUTOMO, R.; ASSAD, M. L. L. Estimativas das precipitações máximas prováveis com duração de horas e 30 minutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 677-686, 1992.

ASSIS, J. P.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; SPAROVEK, G.; TIMM, L. C. Ajustes de séries históricas de temperatura e radiação solar global diária às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Serra Talhada, v. 12, n. 1, p. 113-121, 2004.

AVILA, 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**, Campina Grande, v. 13, n. suplemento, p. 906-915, 2009.

BARRETO, H. B. F.; PEREIRA, G. M.; SANTOS, W. O.; FREIRE, F. G. C.; MAIA, P. M. E. Avaliação de Funções de Probabilidade e Relação-Intensidade-Duração-Frequência para Precipitação Extrema em Nepomuceno - MG. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p. 118-127, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.

DALLACORT, R.; MARTINS, J.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L. C.; ADEMAR, 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.

DUARTE, A. F. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 37-42, 2005.

ELY, D. F.; ALMEIDA, I. R.; ANNA, NETO, J. L. S. Variabilidade Climática e o Rendimento da Cultura do Milho no Estado do Paraná: algumas Implicações Políticas e Econômicas, **Geografia**, Londrina, v. 12, n. 1, p. 498-508, 2003.

FIETZ, C. R.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M, V.; URCHER, M, A, Precipitação esperada, em diferentes níveis de probabilidade, na região de Dourados, MS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 29-39, 1998.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação, gotejamento e microaspersão**. Marigá: Eduen, 2012. 356 p.

HERMAN, M. R.; NEJADHASHEMI, A. P.; ABOUALI, M.; HERNANDEZ-SUAREZ, J. S.; DANESHVAR, F.; ZHANG, Z.; ANDERSON, M. C.; SADEGHI, A. M.; HAIN, C. R.; SHARIFI, A. Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 556, n.1, p. 39-49, 2018.

KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 172-181, 2015.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Modelo computacional para estimativa das precipitações prováveis utilizando as distribuições de probabilidades gama e log-normal. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 6, n. 11, p.

141-148, 2006.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221, 2013.

MARINHO, R. R.; RIVERA, I. A. A precipitação estimada por satélite na Bacia do Rio Negro, Noroeste Amazônico (1981 - 2017), **RA'EGA**, Curitiba, v. 50, n. 44, p. 44-61, 2021.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

NÓBREGA, R. S. Impactos do desmatamento e de mudanças climáticas nos recursos hídricos na Amazônia ocidental utilizando o modelo SLURP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 111, p. 111-120, 2014.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão, no Estado de Goiás, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 106-110, 2003.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; BÔAS, V. Estudo da precipitação efetiva para o município de lavras, Minas Gerais, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.

4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SILVA, E. L. **Relação água-solo-planta**. Lavras: ESAL, 1982. 30 p.

SOCOL, 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**. Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 569-574, 2010.

SILVA, J. R. S.; TAVEIRA, M. K.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. V. Probability of rainfall for the city of Cruzeiro do Sul, Acre, Brazil, **Revista Ambiente Água**, Taubaté, v. 16 n. 1, p. e2593, 2021.

TUO, Y.; DUAN, Z.; DISSE, M.; CHIOGNA, G. Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy). **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 20; n. 15, p. 66-82, 2016.

VELA, R. H. N.; DALLACORT, R.; NIED, A. H. Distribuição decenal, mensal e totais de precipitação na região de Tangará da Serra - MT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: SBEA, 2007. p. 1-4.

VIEIRA, J. P.; SOUZA, M. J.; TEIXEIRA, J.; CARVALHO, F. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 762-767, 2010.