

Artigo

Desagregação de Chuvas Diárias no Estado de Mato Grosso

Marlus Sabino¹ , Adilson Pacheco de Souza^{1,2} , Frederico Terra de Almeida² ,
Cornelio Alberto Zolin³ , Luana Lisboa⁴ 

¹Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

²Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

³Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT, Brasil

⁴Serviço Geológico Brasileiro, Manaus, AM, Brasil.

Recebido em: 23 de Novembro de 2021 - Aceito em: 4 de Novembro de 2022

Resumo

As chuvas intensas é uma variável climática importante no planejamento de obras hidráulicas, sendo usualmente caracterizada pelas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) obtidas de dados pluviográficos. Em locais que não dispõem de estações pluviográficas as curvas IDF podem ser obtidas por métodos de desagregação de chuvas diárias. Assim, esse estudo ajustou os coeficientes de desagregação de chuvas de 1 dia e os parâmetros da equação de Bell no Estado de Mato Grosso e verificou qual método proporciona melhores resultados na estimativa de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno. O ajuste dos métodos de desagregação de chuvas de 1 dia e equação de Bell foi realizado pela análise das relações entre as chuvas obtidas das curvas IDF de 14 estações pluviográficas do estado e das séries anuais de chuva máxima diária, nos mesmos locais, ajustados à distribuição generalizada de valores extremos. Devido à baixa frequência de chuvas com duração superior a 360 min, o primeiro coeficiente de desagregação de chuvas obtidos foi de 1 dia em 6 horas (0.53). Os parâmetros médios da equação de Bell (α : 0.19, β_1 : 0.99, β_2 : 0.96, β_3 : 0.99, γ : 0.16) apresentaram ajuste satisfatório com R^2 igual 0.88. As raízes dos erros médio quadrático de ambos os métodos variaram de 3.5 mm (chuvas de 10 min) a 18.7 mm (chuvas de 360 min), com um viés inferior a 10%. O ajuste de ambos os métodos foi responsável por reduzir os erros associados quando comparado aos coeficientes nacionais, sendo assim, indicados para a obtenção de chuvas de durações inferiores a 1 dia a partir de dados pluviométricos no Mato Grosso.

Palavras-chave: equação de Bell, precipitação, pluviômetro, pluviógrafo, chuvas intensas.

Disaggregation of Daily Rainfall in the State of Mato Grosso

Abstract

Intense rainfall is an environmental variable of great importance in the planning of hydraulic works, being usually characterized by intensity-duration-frequency (IDF) curves obtained from rainfall data. In places that do not have rainfall stations, the IDF curves can be obtained using daily rainfall disaggregation methods. Thus, this work sought to adjust the 1-day rainfall disaggregation coefficients and the parameters of the Bell equation in the State of Mato Grosso, as well as to verify which method provides better results in estimating rainfall of different durations and return times. The adjustment of the two methods was performed by analyzing the relationship between rainfall obtained from the IDF curves of 14 rainfall stations in the state and the annual series of maximum daily rainfall, in the same locations, adjusted to the generalized distribution of extreme values. Due to the low frequency of rainfall lasting more than 360 minutes, the first rainfall disaggregation coefficient obtained was 1 day in 6 hours (0.53). The adjustment of both methods was responsible for reducing the associated errors when compared to the national coefficients, thus, they are indicated for obtaining rainfall of less than 1 day from rainfall data in Mato Grosso.

Keywords: Bell Equation, precipitation, rain gauge, pluviograph, intense rainfall.

1. Introdução

A gestão de recursos hídricos pressupõe a busca por soluções para problemas resultantes do uso intensivo da água em produtos e processos voltados ao do crescimento econômico e a adensamento populacional, aliado a manutenção das funções hidrológicas, químicas e biológicas da água nos ecossistemas (Lelis *et al.*, 2020).

Em países com dimensões continentais, como o Brasil, o monitoramento hidrometeorológico muitas vezes não abrange todas as regiões (Melati e Marcuzzo, 2016). Este fato apresenta desafios relevantes na estimativa da disponibilidade de água superficial nas bacias hidrográficas, assim, é necessário desenvolver estudos que ampliem as informações pluviométricas e fluviométricas existentes e, paralelamente, ações técnicas que mitiguem ou eliminem o efeito da falta de dados.

Dentre os estados brasileiros, Mato Grosso destaca-se por sua grande extensão territorial e inserção nos biomas do cerrado, da floresta amazônica e do pantanal, proporcionando uma grande diversidade de situações ecológicas, socioeconômicas, desenvolvimento rural e agroindustrial (Souza *et al.*, 2013; Seplan, 2021). Contudo, essa diversidade de ambientes presentes no Estado, amplia as demandas para o estabelecimento de análises e discussões quanto às variáveis determinantes da dinâmica do desenvolvimento dos sistemas produtivos e dos impactos ambientais gerados, sobretudo nos recursos hídricos para os diferentes biomas ocorrentes no Estado.

Em função da baixa disponibilidade de dados pluviográficos no Mato Grosso, ainda não há em grande parte dos municípios, a definição das equações de intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas determinadas por meio de análise de pluviogramas (Sabino *et al.*, 2020). Em geral, devido a maior densidade de pluviômetros na Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA, 2020), os estudos de calibração de curvas IDF no Estado, têm sido baseados em processos de desagregação de dados pluviométricos diários (Fietz *et al.*, 2011; Garcia *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011; Sousa *et al.*, 2016) e locais (Martins *et al.*, 2010; Pizzato *et al.*, 2012; Mossini Junior *et al.*, 2016).

Em locais em que não há disponibilidade de dados pluviográficos, o uso dos métodos de desagregação de chuvas diárias (DAEE-CETESB, 1980) e da equação de Bell (Bell, 1969), são alternativas que possibilitam a calibração de equações IDF com a utilização de registros pluviométricos diários e baseiam-se na hipótese de que a chuva de 1 (um) dia apresenta coeficientes de relação com chuvas de durações inferiores, e esta relação, se mantém em diferentes períodos de retorno.

No Brasil, os coeficientes de desagregação de chuvas propostos pela DAEE-CETESB (1980) e equação de Bell ajustada por Righetto (1998) são bastante utilizados, todavia, destaca-se que as mesmas foram ajustadas com base

na média nacional, da qual constava-se apenas um posto pluviográfico no Mato Grosso. Nesse contexto, a sua generalização pode proporcionar erros consideráveis na estimativa de chuvas intensas de durações inferiores a um dia, havendo a demanda da obtenção de coeficientes que melhor descrevam as características das chuvas regionais. Esse estudo tem por objetivos: i) ajustar os coeficientes de desagregação e parâmetros da equação de Bell para o estado de Mato Grosso; ii) verificar qual método é capaz de gerar melhores estimativas de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo

O Estado de Mato Grosso está localizado na região Centro-Oeste do Brasil (06°00' S, 19°45' S e 50°06' W, 62°45' W), com uma cobertura territorial de 903.202.446 km² (IBGE, 2017). Segundo a classificação de Köppen, existem dois climas predominantes no Estado, o Aw (clima de savana tropical) e o Cwa (clima tropical). A temperatura média mensal varia de 23,00 °C a 26,84 °C e a precipitação anual total de 1.200 a 2.000 mm (Souza *et al.*, 2013). A região também possui duas estações bem definidas: a estação chuvosa, de outubro a abril; e a estação seca, de maio a setembro.

Os dados de chuva utilizados nesse estudo foram coletados em catorze estações pluviométricas e pluviográficas (Tabela 1) localizadas no Estado de Mato Grosso (Fig. 1) pertencentes e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (disponibilizada por INMET (2019)) e à Rede Nacional de Hidrometeorologia (CPRM), ambos os órgãos sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). Como o estudo buscou avaliar apenas as chuvas intensas, considerando para tanto apenas a chuva máxima de cada ano não foram realizados procedimentos de preenchimento de dados e homogeneização.

2.2. Processamento dos dados

As etapas de processamento de dados e ajuste dos coeficientes de desagregação pelos métodos de Desagregação de Chuvas de 1 dia (DAEE-CETESB, 1980) e método de Bell (Bell, 1969) são apresentados na Fig. 2. As etapas são divididas em 4 sub-rotinas: a) Obtenção das chuvas extremas em diferentes durações e tempos de retorno por meio das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) obtida de dados pluviográficos; b) Obtenção das chuvas extremas diárias de diferentes tempos de retorno por meio da análise dos pluviômetros e ajuste de funções de distribuição de probabilidade teórica (FDP) c) Ajuste dos coeficientes de desagregação das chuvas diárias mediante análise das relações das chuvas diárias com as de diferente durações e d) Ajuste dos coeficientes da equação de desagregação de chuvas de Bell.

Tabela 1 - Estações pluviométricas, pertencentes a rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/ANA), e pluviográficas, Rede Nacional de Hidrometeorologia (CPRM/ANA), utilizadas no estudo, localizados no Estado do Mato Grosso, Brasil.

	Lat	Lon	Alt (m)	Série pluviô-grafo	Série pluviometro
01 - Jus. Foz Peixoto de Azevedo	-9,64	-56,02	290	2002-2012	1980-2018
02 - Alta Floresta	-9,87	-56,10	400	2000-2010	1978-2018
03 - Humboldt	-10,18	-59,45	242	2002-2012	1978-2018
04 - Porto dos Gaúchos	-11,54	-57,42	260	2000-2011	1973-2018
05 - Mato Grosso	-15,01	-59,95	209	2002-2012	1966-2018
06 - Pontes e Lacerda	-15,22	-59,35	236	2001-2010	1974-2018
07 - Porto Esperidião	-15,85	-58,47	166	2001-2010	1966-2018
08 - Paranatinga	-14,42	-54,05	484	2000-2010	1973-2018
09 - Xavantina	-14,67	-52,35	263	2001-2010	1969-2018
10 - Rondonópolis	-16,47	-54,66	220	2000-2010	1965-2018
11 - Ponte Branca	-16,77	-52,84	380	2000-2012	1973-2018
12 - Alto Garças	-16,94	-53,53	564	2000-2012	1976-2018
13 - Alto Araguaia	-17,30	-53,22	659	2000-2012	1964-2018
14 - Fazenda Taquari	-17,81	-53,29	845	2000-2012	1969-2018

* Lat: Latitude; Lon: Longitude; Alt: Altitude; Jus: Jusante.

A obtenção das chuvas extremas para as durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 min nos tempos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos utilizadas na construção do conjunto de dados anual de eventos extremos de chuva e ajuste de curvas de Intensidade-duração-frequência (IDF) foram previamente determinadas no estudo de Sabino *et al.* (2020).

As séries anuais de chuvas intensas de 1 dia em cada estação meteorológica foram obtidas dos dados registrados pela rede do INMET instaladas próximas as estações pluviográficas. Posteriormente, as séries anuais foram ajustadas às funções de distribuição de probabilidade (FDP) Generalizada de Valores Extremos (GEV) (Eq. (1)), por se tratar da mesma FDP utilizada na construção das curvas IDF (Sabino *et al.*, 2020). Os parâmetros das distribuições de probabilidade foram estimados usando o método de máxima verossimilhança e a adesão dos ajustes da distribuição GEV as séries históricas foi verificada pelo teste de Kolmogorov Smirnov, a 20% de probabilidade. Esse nível de significância foi selecionado para limitar o teste de hipóteses, uma vez que níveis aumentados de significância reduzem o valor crítico do teste estatístico (Naghetini e Pinto, 2007). Os detalhes dos cálculos do teste de adesão de Kolmogorov Smirnov são apresentados por Naghetini e Pinto (2007). Após determinação dos parâmetros da distribuição estimou-se a pre-

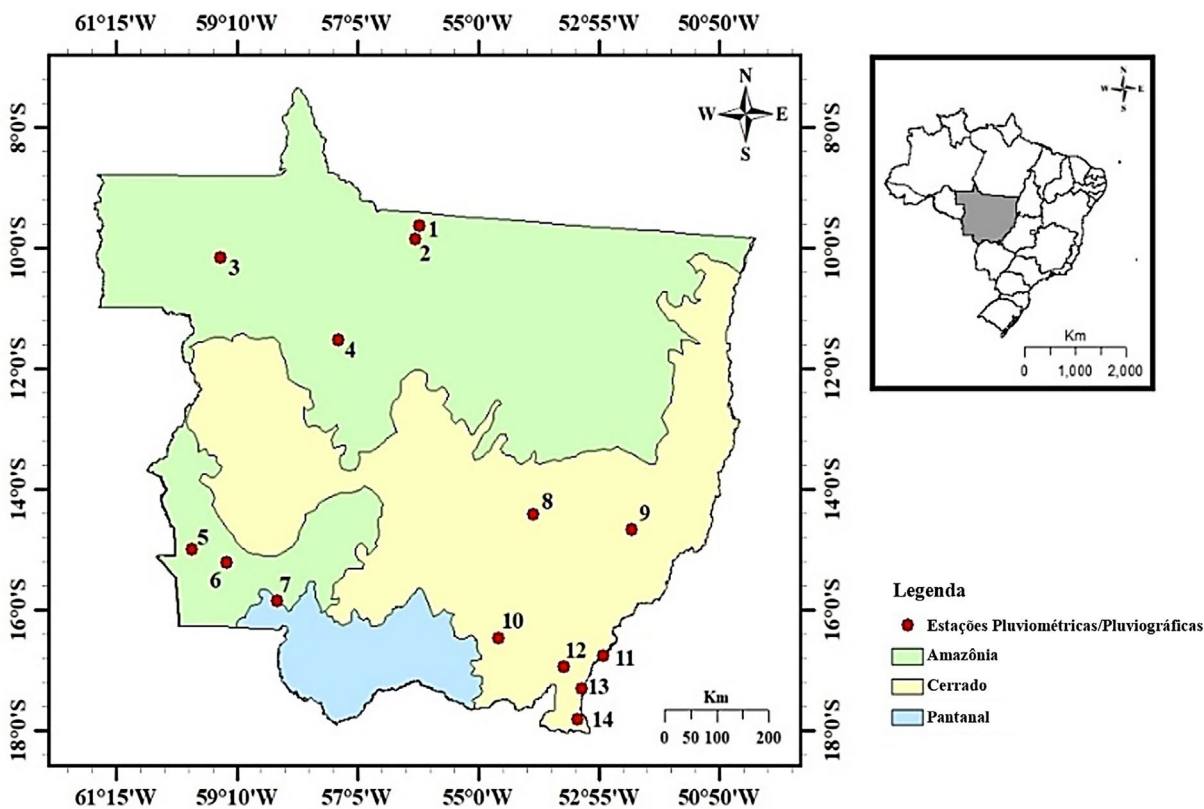


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas/pluviográficas avaliadas (Identificação numérica de acordo com a Tabela 1).

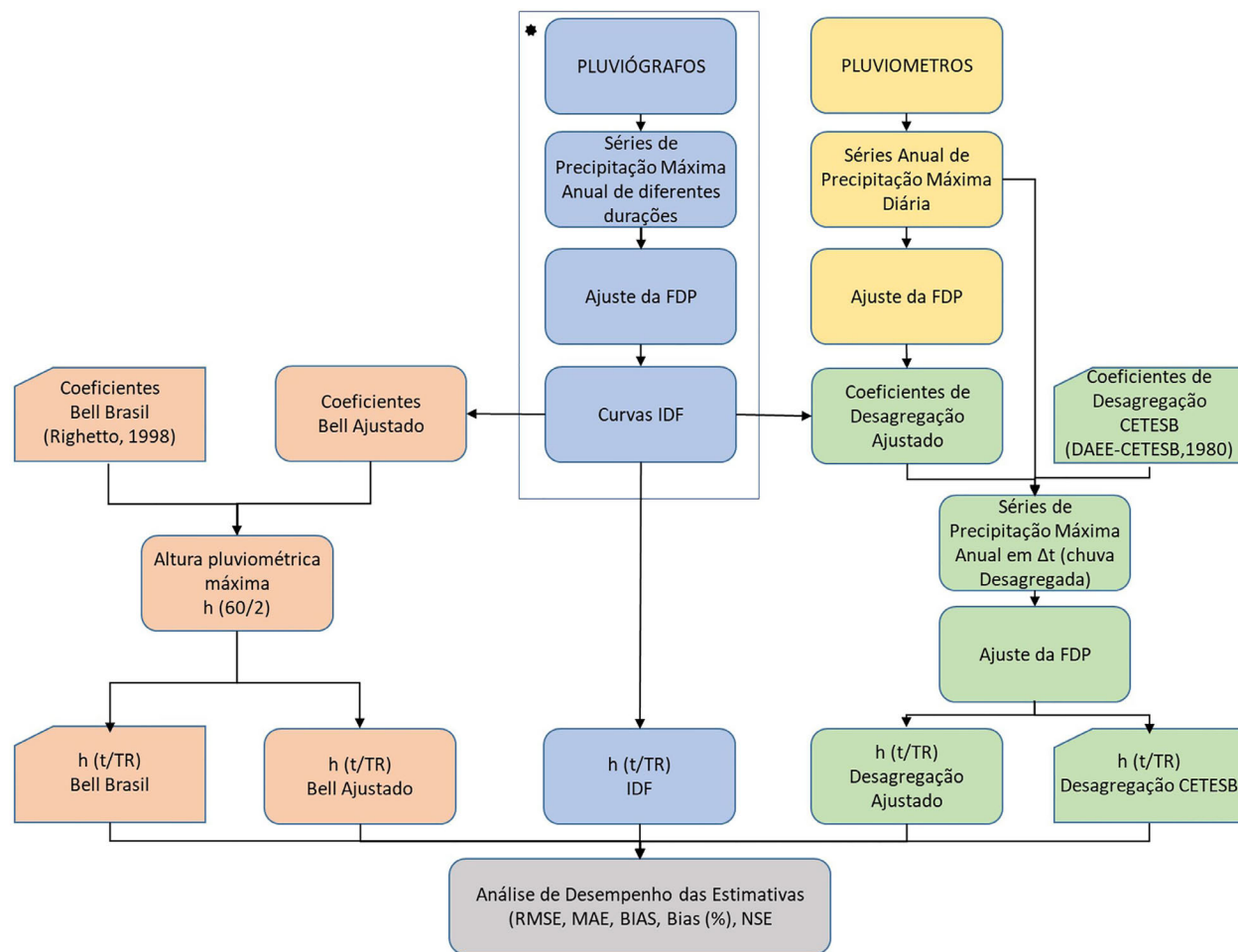


Figura 2 - Organograma das etapas de ajustes dos coeficientes utilizados nas estimativas. * Etapas no quadro em azul foram realizadas por Sabino *et al.* (2020); $h(60/2)$ é a altura pluviográfica (mm) padrão de 60 min e 2 anos de período de retorno; $h(t/TR)$ é a altura pluviográfica (mm) de duração “ t ” e período de retorno “ TR ”.

precipitação máxima diária provável para os períodos de retorno 2, 5, 10, 20 e 50 anos.

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 + k(x - \mu/\sigma)\right)^{-1/k}\right) \quad (1)$$

em que $F(x)$ é a função de distribuição acumulada GEV para a variável x ; k é o parâmetro contínuo de forma ($k \neq 0$); σ é o parâmetro contínuo de escala ($\sigma > 0$); μ é o parâmetro contínuo de localização.

2.3. Método de desagregação de chuvas de 1 dia.

O estudo clássico de desagregação de chuvas de 1 dia no Brasil foi desenvolvido pela DAEE-CETESB (1980), o qual estabeleceu uma relação de chuvas intensas de diferentes durações, a partir das curvas IDF obtidas por Pfafstetter (1957) abrangendo todo o território nacional. Essas relações compõem os coeficientes de desagregação que transformam a chuva de um dia em chuvas de menores durações.

Uma opção para melhorar os resultados do método é adquirir coeficientes específicos para cada localidade, por meio da análise da relação de chuvas pluviográficas (chuvas máximas de diferentes durações e tempos de retorno) e pluviométricas (chuva máxima de 1 dia em diferentes tempos de retorno). Para tanto, inicialmente, em cada estação meteorológica do estado, foram obtidos os quocientes entre as chuvas pluviográficas de maior duração e pluviométricas máximas em diferentes tempos de retorno, para, em seguida, serem obtidos os quocientes para as demais durações de chuvas e a chuva de máxima duração. O valor dos coeficientes de desagregação foi então determinado pela média geométrica dos quocientes de mesma duração de chuva em diferentes tempos de retorno (DAEE-CETESB, 1980).

2.4. Método de desagregação de chuvas Bell

O método de desagregação da chuva de Bell, de acordo com Bertoni e Tucci (1993) e Righetto (1998),

associa a altura pluviométrica de uma chuva intensa de determinada duração e período de retorno (h_{TR}^t) à altura da chuva de uma precipitação padrão de 60 min de duração e dois anos de período de retorno (h_2^{60}), de acordo com a Eq. (2).

$$h_{TR}^t = (\alpha \ln TR + \beta_1) * (\beta_2 t^\gamma - \beta_3) * h_2^{60} \quad (2)$$

em que h_{TR}^t é a altura pluviográfica (mm) de chuva intensa de duração “t” e período de retorno “TR”; h_2^{60} é a altura pluviográfica (mm) padrão de 60 min e 2 anos de período de retorno; e α , γ , β_1 , β_2 e β_3 são parâmetros regionais ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

Para locais que não possuem estações pluviográficas para determinar a precipitação padrão de 60 min de duração e 2 anos de período de retorno, esses valores podem ser obtidos através da análise da precipitação máxima de 1 dia com período de retorno de 2 anos (h_2^{1d}), de acordo com a Eq. (3):

$$h_2^{60} = 0.51 * h_2^{1d} \quad (3)$$

Segundo Bertoni e Tucci (1993), o método de Bell é aplicado apenas a chuvas com duração inferior a 120 min e com tempo de retorno menor que 20 anos, dessa forma, os parâmetros regionais da equação 1 foram ajustados para serem utilizados nas estimativas da chuva máxima com duração de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60 e 120 min e período de retorno de 2; 5; 10 e 20 anos.

Para fins de comparação da qualidade de ajuste, os parâmetros obtidos nesse trabalho foram comparados com os de Righetto (1998) que ajustou a equação de Bell para o território nacional a partir da manipulação de postos pluviográficos instalados em diferentes regiões do País (Eq. (4)):

$$h_{TR}^t = (0.31 \ln TR + 0.70) * (0.38 t^{0.31} - 0.39) * h_2^{60} \quad (4)$$

2.5. Comparação do ajuste dos métodos

Após os ajustes de cada método foram obtidas as chuvas estimadas pelos métodos: a) equação de Bell com ajuste local e precipitação h_2^{60} (Bell Local (60,2)); b) equação de Bell com ajuste local e precipitação h_2^{1d} (Bell Local (1d,2)); c) equação de Bell com parâmetros de Righetto (1998) e precipitação h_2^{60} (RIGHETTO (60,2)); d) equação de Bell com parâmetros de Righetto (1998) e precipitação h_2^{1d} (RIGHETTO (1d,2)); e) coeficientes de relação das chuvas com ajuste local (Desagregação Aj.); f) coeficientes de relação das chuvas obtidos por DAEE-CETESB (1980) (Desagregação CETESB).

O desempenho dos ajustes de desagregação de chuvas foi avaliado comparando-se os valores estimados de lâmina precipitada em diferentes durações e tempos de retorno obtidos por cada método com a lâmina precipitada obtida por meio das curvas IDF. Sendo a qualidade dos métodos obtidas pelos índices estatísticos da raiz do erro quadrático médio (RMSE); erro absoluto médio (MAE); viés (%); e índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), obtidos, respectivamente, pelas Eq. (5) a (8) (Willmott, 1982; Stone, 1993; Krause *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2014).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - P_i| \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2} \quad (6)$$

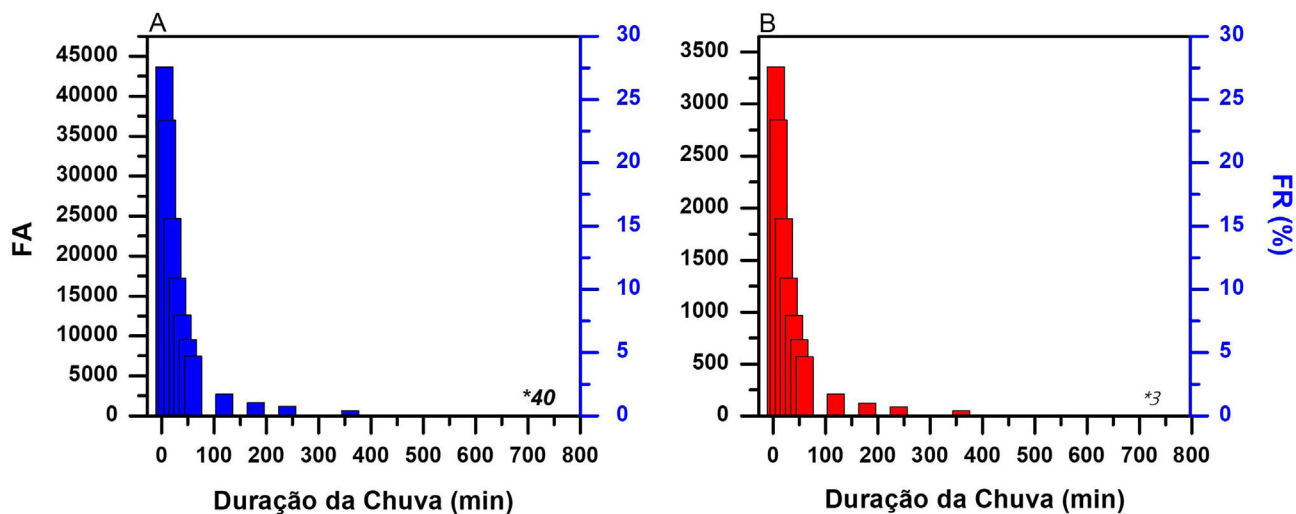


Figura 3 - Frequência Absoluta (FA) e Frequência Relativa (FR) das ocorrências de chuvas de diferentes durações nos postos pluviográficos do Mato Grosso, nos 12 anos das séries de dados (A) e suas médias anuais (B).

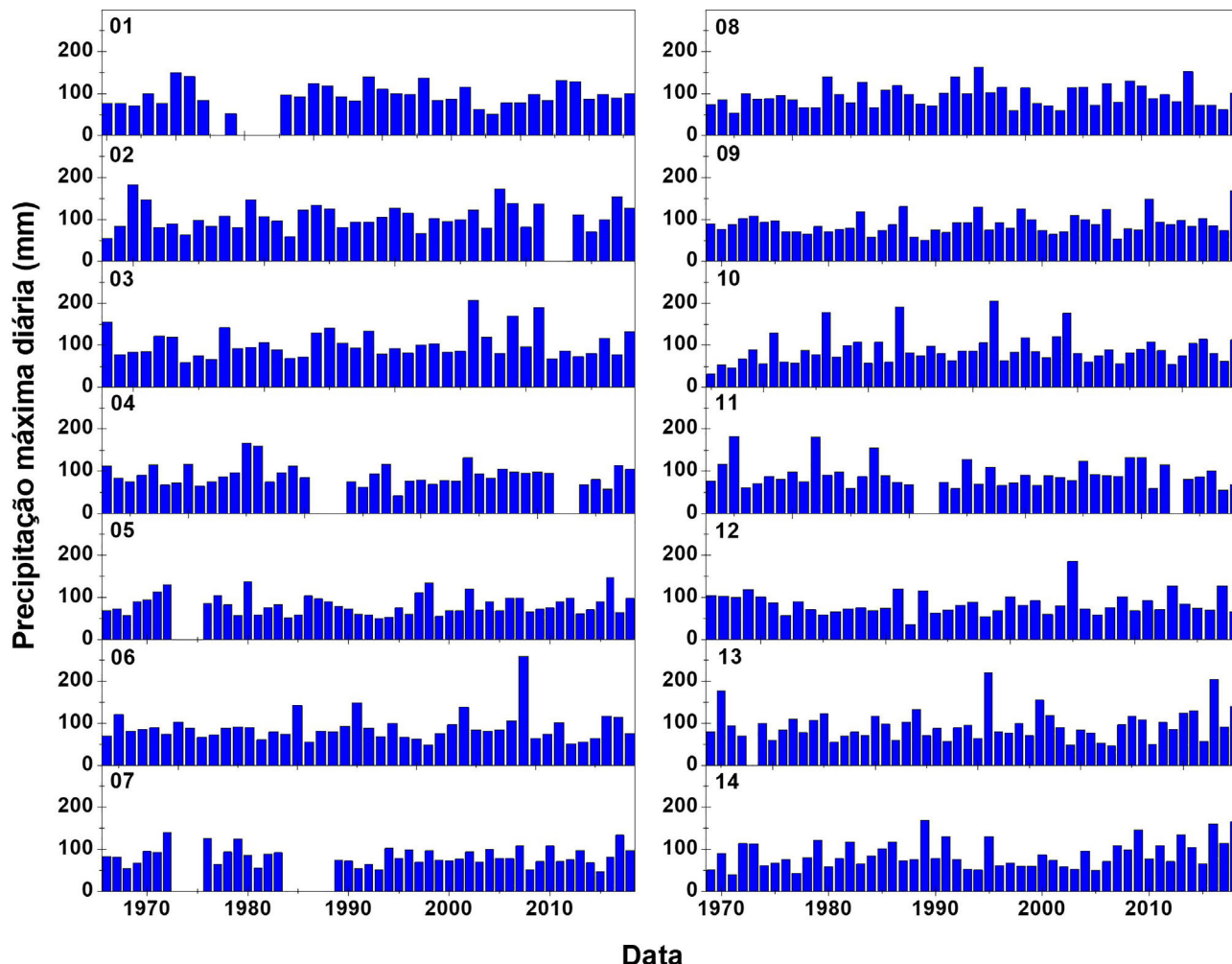


Figura 4 - Série de máximas anuais de chuvas de 1 dia dos postos pluviométricos no Estado de Mato Grosso, Brasil.

$$\text{Viés} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i) \quad (7)$$

$$\text{NSE} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \right] \quad (8)$$

em que P_i é a chuva estimada (mm.h^{-1}); O_i , a chuva observada (mm.h^{-1}); O é a média das chuvas observadas (mm.h^{-1}); e N , o número de valores da amostra.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise das chuvas máximas

A distribuições de frequência das chuvas com diferentes durações no estado de Mato Grosso são apresentadas na Fig. 3. Observa-se que a maior frequência correspondeu a eventos com menos de 60 min de duração, além disso, conforme ressaltado por Sabino *et al.* (2020),

as chuvas com durações superiores a 6 horas (360 min) no Estado representam menos de 1.5% dos eventos anuais.

A análise das séries anuais de chuva máxima de 1 dia das estações pluviométricas do Estado de Mato Grosso (Fig. 4) demonstram que os menores valores no Estado variaram de 32 mm.d^{-1} (10 - Rondonópolis) a 59 mm.d^{-1} (3 - Humboldt), os maiores valores observados variaram de 140 mm.d^{-1} (7 - Porto Esperidião) a 259 mm.d^{-1} (6 - Pontes e Lacerda) e a média da precipitação máxima foi de 91 mm d^{-1} .

Em todas as estações pluviométricas do Estado foi possível ajustar os parâmetros da distribuição GEV. Os resultados do ajuste dos parâmetros de forma (K), escala (σ) e posição (μ), da distribuição GEV, assim como os histogramas e curvas de probabilidade acumulada das chuvas diárias são fornecidos, respectivamente, na Tabela 2 e Fig. 5. A distribuição provável das chuvas diárias nas estações variou, em geral, de 40 e 250 mm.dia^{-1} , sendo a lâmina provável de ocorrer com 2 anos de retorno (0.5% de probabilidade) em torno de 90 mm, valores esses seme-

Tabela 2 - Valores dos parâmetros ajustados K , σ e μ , do modelo de distribuição Generalizado de Valores Extremos para as estações pluviométricas do estado.

Estação	Parâmetros distribuição GEV		
	K	σ	μ
1 - Jus Foz Peixoto de Azevedo	-0,0995	22,15	86,01
2 - Alta Floresta	0,0778	18,42	72,22
3 - Humboldt	0,1796	21,51	86,31
4 - Porto dos Gaúchos	0,0040	19,35	79,87
5 - Mato Grosso	0,0387	18,55	71,18
6 - Pontes e Lacerda	0,2264	17,82	73,68
7 - Porto Esperidião	-0,0716	18,66	73,78
8 - Paranatinga	-0,0358	22,05	82,87
9 - Xavantina	0,0570	17,43	77,97
10 - Rondonópolis	0,1417	22,70	71,36
11 - Ponte Branca	0,1815	18,75	77,03
12 - Alto Garças	0,0778	18,42	72,22
13 - Alto Araguaia	0,1164	24,62	76,09
14 - Fazenda Taquari	0,0356	25,64	72,06

lhantes aos observados nas séries de chuvas máximas diárias (Fig. 4).

3.2. Ajuste dos coeficientes de desagregação de chuvas de 1 dia

Devido à baixa ocorrência de chuvas com duração superior a 360 min o ajuste do primeiro coeficiente de desagregação foi realizado entre as chuvas de 1 dia em 6 horas (Tabela 3) ao invés da relação proposta por DAEE-CETESB (1980) de desagregação das chuvas de 1 dia em 24 horas.

Os coeficientes de relação entre as chuvas máximas obtidas em pluviômetros e pluviôgrafos no estado variam em média entre 0.21 (14 - Fazenda Taquari) e 0.93 (6 - Pontes e Lacerda), sendo a média, considerando todas as estações e períodos de retorno de 0.53. Além disso é importante notar que o coeficiente de relação de chuvas, em uma mesma estação, tende a se manter constante ao variar o tempo de retorno, característica essa esperada no ajuste dos coeficientes de desagregação (DAEE-CETESB, 1980; Back *et al.*, 2012).

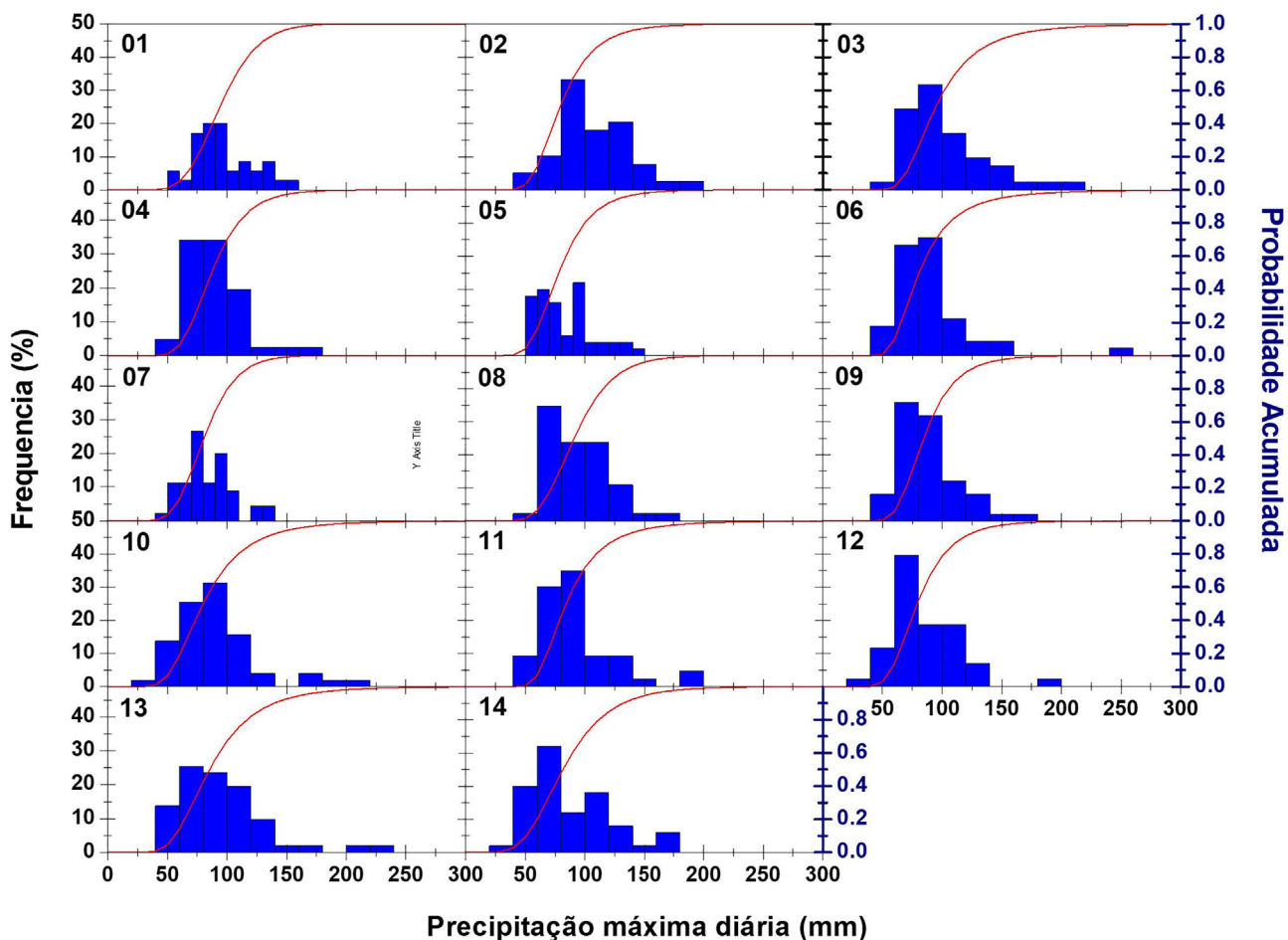


Figura 5 - Histograma e curva de probabilidade acumulada da distribuição GEV para as séries de máximas anuais de 1 dia dos postos pluviométricos no Estado de Mato Grosso, Brasil

Tabela 3 - Lâmina e coeficientes de relação entre as chuvas intensas em diferentes períodos de retorno para duração de 6 horas (IDF) e 1 dia (Pluviômetros) do estado do Mato Grosso.

Estação	Precipitação máxima 6 horas (IDF)					Precipitação máxima 1 Dia (pluviômetros)					Coeficiente de relação de chuvas				
	Tempo retorno					Tempo retorno					Tempo retorno				
	2	5	10	20	50	2	5	10	20	50	2	5	10	20	50
1	50	59	66	74	86	94	117	131	143	158	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	64	70	74	80	87	79	101	117	134	156	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6
3	99	110	119	129	143	94	123	146	171	208	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8
4	84	95	104	114	128	87	109	124	138	156	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8
5	50	61	70	80	97	78	100	115	129	149	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	83	99	115	133	159	80	105	126	149	185	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
7	44	49	52	56	61	80	100	113	124	137	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
8	56	63	68	74	83	91	115	131	145	163	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
9	58	64	68	73	80	84	105	120	134	154	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
10	35	42	49	56	68	80	109	131	155	190	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
11	54	59	62	66	71	84	109	129	151	183	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4
12	38	45	51	58	68	79	102	117	134	156	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
13	46	51	56	61	68	85	116	139	163	198	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
14	18	22	26	31	38	81	112	132	152	179	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
\bar{X}_G	52	59	65	73	83	84	109	126	144	168	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5

 \bar{X}_G : Média Geométrica.

Os coeficientes de relação entre as chuvas de máxima duração diária (6 h) e de durações inferiores é apresentado na Tabela 4. Por meio dos coeficientes podemos inferir que aproximadamente metade da lâmina precipitada em 1 dia corresponde a chuvas com durações inferiores a 6 h, e que

as chuvas de 1 h produzem cerca de 80% da lâmina d'água das chuvas de 6 h refletindo um padrão de ocorrência de chuvas de pequena duração e grande volume.

Apesar de a Tabela 4 apresentar os valores de coeficientes de desagregação de chuvas de cada estação, esse

Tabela 4 - Coeficientes de desagregação de chuvas de 1 dia em diferentes durações para o Estado de Mato Grosso.

Estação	Relação de durações											
	6 h/1 dia	4 h/6 h	3 h/6 h	2 h/6 h	1 h/6 h	50 min/1 h	40 min/1 h	30 min/1 h	25 min/30 min	20 min/30 min	15 min/30 min	10 min/30 min
01	0,50	0,99	0,97	0,93	0,83	0,96	0,90	0,81	0,93	0,84	0,72	0,56
02	0,66	0,98	0,95	0,90	0,77	0,94	0,87	0,76	0,91	0,81	0,68	0,51
03	0,87	0,84	0,74	0,62	0,46	0,92	0,83	0,72	0,91	0,81	0,70	0,55
04	0,86	0,95	0,91	0,83	0,65	0,92	0,82	0,70	0,89	0,77	0,62	0,45
05	0,60	0,92	0,86	0,78	0,64	0,94	0,87	0,77	0,92	0,83	0,71	0,55
06	0,92	0,88	0,80	0,69	0,53	0,93	0,84	0,74	0,91	0,82	0,69	0,54
07	0,48	1,04	1,05	1,05	0,96	0,96	0,89	0,80	0,92	0,82	0,69	0,53
08	0,52	1,01	0,99	0,95	0,80	0,94	0,85	0,74	0,90	0,79	0,64	0,47
09	0,58	1,01	1,00	0,98	0,89	0,96	0,90	0,82	0,93	0,84	0,72	0,56
10	0,40	1,07	1,11	1,13	1,06	0,96	0,90	0,81	0,92	0,82	0,69	0,52
11	0,47	1,01	1,00	0,96	0,81	0,94	0,85	0,74	0,90	0,79	0,64	0,48
12	0,42	1,05	1,07	1,09	1,07	0,98	0,95	0,89	0,95	0,88	0,78	0,63
13	0,39	1,01	1,01	0,97	0,85	0,94	0,87	0,76	0,91	0,80	0,67	0,50
14	0,20	1,12	1,19	1,28	1,35	0,99	0,97	0,93	0,96	0,89	0,79	0,65
\bar{X}_G	0,53	0,99	0,97	0,93	0,80	0,95	0,88	0,78	0,92	0,82	0,7	0,53
CV (%)	36,62	7,52	12,26	18,51	27,88	2,18	4,90	8,19	2,09	4,03	6,94	10,42

Tabela 5 - Chuvas máximas de 60 min e 2 anos de retorno obtidas por meio das curvas IDF h (60,2) e da correção da chuva máxima de 1 dias e 2 anos de retorno obtida dos pluviômetros h (1d,2), para o Mato Grosso.

Estação	Chuva padrão		Coeficientes de Bell				
	h (60,2)	h (1d,2)	α	β_1	β_2	β_3	γ
01	42	47,9	0,23	0,99	0,99	0,93	0,14
02	48,6	40,3	0,12	0,99	0,94	0,99	0,17
03	45,4	48,2	0,14	0,99	0,75	0,90	0,22
04	54,6	44,4	0,17	0,99	0,79	0,99	0,21
05	32	39,8	0,33	0,99	0,94	0,99	0,16
06	44,1	41	0,32	0,99	0,68	0,77	0,21
07	42,3	41,1	0,13	0,99	0,99	0,95	0,15
08	44,8	46,4	0,16	0,99	0,88	0,99	0,18
09	51,5	43,1	0,13	0,99	0,99	0,91	0,15
10	37	40,7	0,33	0,99	0,99	0,95	0,13
11	43,9	42,9	0,10	0,99	0,88	0,99	0,19
12	40,6	40,3	0,27	0,99	0,99	0,73	0,11
13	38,9	43,5	0,16	0,99	0,94	0,99	0,17
14	24,4	41,6	0,39	0,99	0,99	0,64	0,08
C.V (%)			45,45	0,00	11,23	12,47	24,45

trabalho buscou ajustar e avaliar a eficiência do uso de um único coeficiente para o Mato Grosso de maneira a permitir a regionalização do mesmo e uso em outras estações pluviométricas do Estado. Essa abordagem pode ser justificada devido à baixa variação dos coeficientes de desagregação, com valores de CV (coeficiente de variação) em torno de 10%, com máximo de 36% observado no coeficiente de desagregação de chuvas de 1 dia para 6 h.

3.3. Ajuste dos parâmetros de desagregação de chuvas da equação de Bell

Os valores de precipitação máxima de 60 min de duração e 2 anos de retorno (h_2^{60}) obtidas por meio das curvas IDF e pela conversão das chuvas diárias (h_2^{1d}), assim como, os coeficientes α , β_1 , β_2 , β_3 e γ ajustados para as estações pluviográficas do Estado de Mato Grosso são apresentados, respectivamente, na Tabela 5. Semelhante ao método de desagregação, os parâmetros da equação de Bell também foram ajustados em uma única equação para o Estado (Eq. (9)).

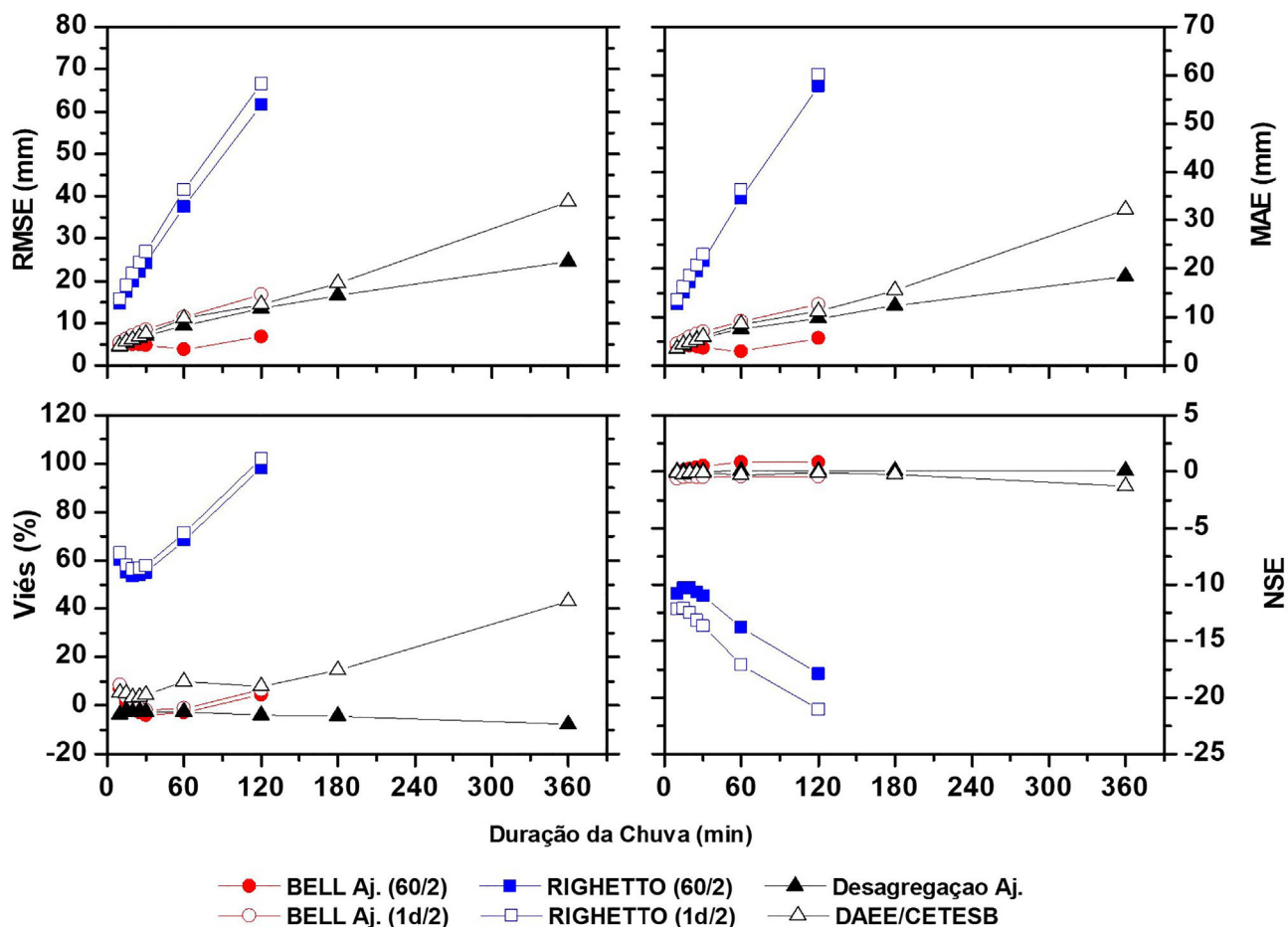


Figura 6 - Desempenho das estimativas RMSE e Bias (%) dos modelos para diferentes durações de chuvas.

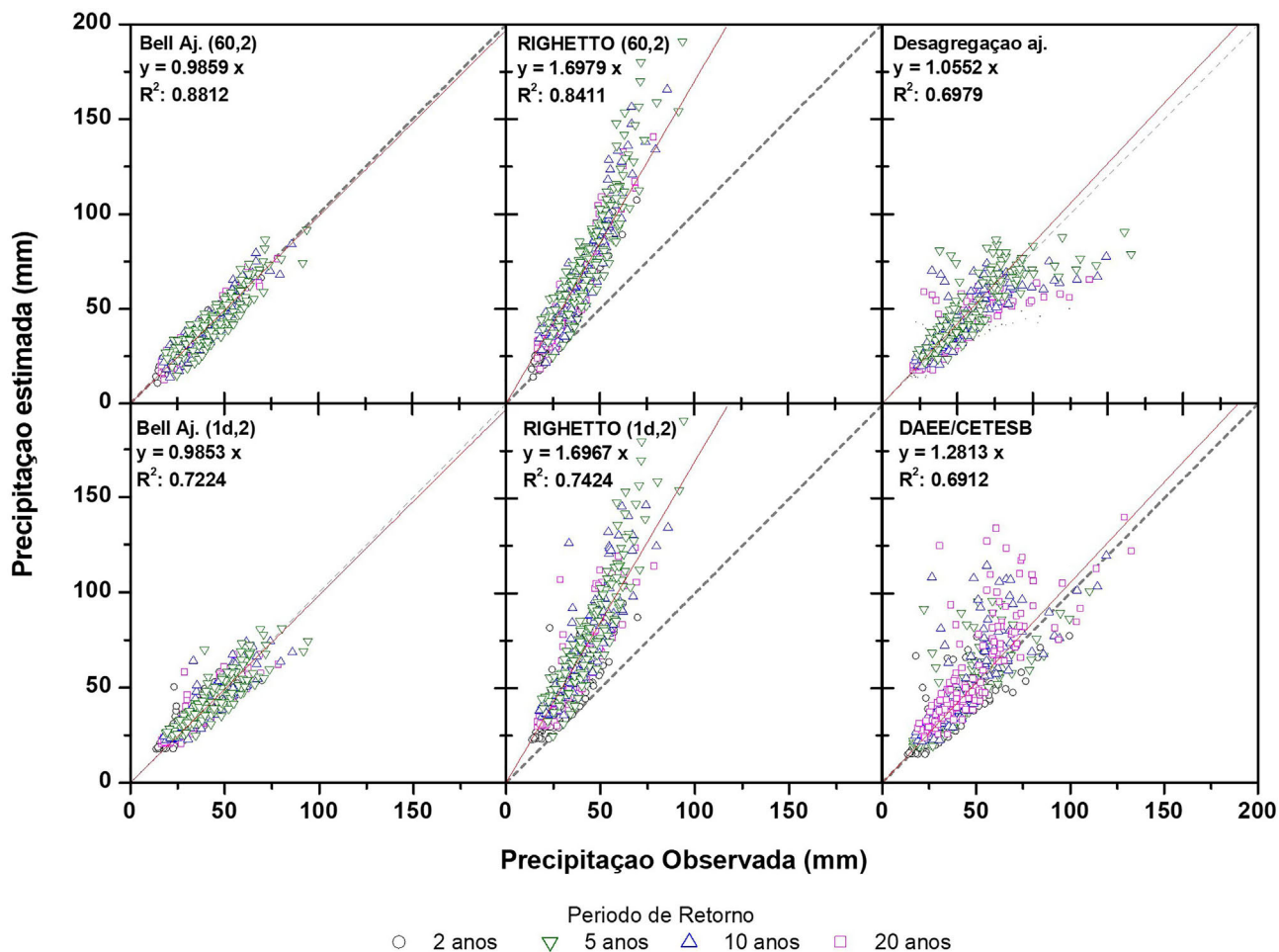


Figura 7 - Distribuição das chuvas estimadas pelos modelos em relação as chuvas encontradas pelas equações IDF no estado de Mato Grosso.

$$h_{TR}^1 = (0.19 \ln TR + 0.99) * (0.96t^{0.16} - 0.99) * h_2^{60} \quad (9)$$

3.4. Comparação do ajuste dos métodos

Os resultados da análise de desempenho dos diferentes métodos de desagregação das chuvas quando comparados a chuvas obtidas pelas curvas IDF demonstraram que o ajuste de coeficientes para o Estado foi responsável pelo aumento de desempenho das estimativas Figs. 6 e 7). A análise dos índices estatísticos demonstra que a equação de Bell com parâmetros ajustados por Righetto (1998) apresentaram o pior desempenho com tendência de superestimação dos valores de 53% a 102% (Viés), correspondendo a um erro de estimativa (RMSE) entre 15 mm (chuvas de 10 min) e 67 mm (chuvas de 120 min). Por outro lado, os demais métodos (Bell ajustado, Desagregação ajustado, e desagregação CETESB) apresentaram desempenho semelhante nas estimativas de chuvas de até 120 min.

Nas estimativas de chuvas com duração superior a 120 min, contudo, o ajuste dos coeficientes do método de Desagregação foi responsável por proporcionar melhores

resultados quando comparado ao coeficiente propostos por DAEE-CETESB (1980). A redução de desempenho das estimativas de chuvas pelo método de desagregação de CETESB ocorre devido a alta dispersão com tendência de superestimação das chuvas com período de retorno superior a 10 anos (Fig. 7).

A baixa frequência de chuvas com duração superior a 360 min no Mato Grosso se deve ao predomínio de chuvas convectivas, as quais, apresentam duração, em geral, inferiores a 9 horas (Salio *et al.*, 2007; Pereira Filho *et al.*, 2014; Costa *et al.*, 2019; Cavalcante *et al.*, 2020; Sabino *et al.*, 2020). Por sua vez, chuvas com duração superior estão relacionadas as chuvas frontais ocasionadas por frentes frias trazidas do Sul do país pelo anticiclone polar (Seluchi, 2009; Nascimento e Novais, 2020). Contudo, na região do Mato Grosso, a ocorrência de anticiclones polares fortes suficientes para ocasionarem chuvas é rara, além de resultar em chuvas de baixa intensidade e volume pouco significativos (Nimer, 1972; Seluchi, 2009; Marcuzzo *et al.*, 2011; Sabino *et al.*, 2020).

O predomínio de chuvas convectivas no Estado, caracterizadas pela curta duração e alta intensidade refletiu

de maneira direta no ajuste dos coeficientes de desagregação de chuvas. Inicialmente, por impossibilitar a determinação dos coeficientes de desagregação de chuvas de 1 dia em 24 horas, visto que, eventos convectivos apresentarem durações, em geral, menores do que 9 h (Salio *et al.*, 2007). O uso de chuvas de 24 h como inicial do processo de desagregação no trabalho de DAEE-CETESB (1980), contudo, se dá pelo fato de o conjunto de dados pluviográficos utilizado pelo autor apresentar alta densidade de estações na região Sul e Sudeste do país (Pfafstetter, 1957), onde, anualmente, há uma maior ocorrência de chuvas do tipo frontal, as quais, são caracterizadas por possuir menor intensidade e longa duração, podendo perdurar por vários dias (Reboita *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2019).

Além disso, as chuvas do tipo convectiva ainda influenciaram na frequência de chuvas durante o dia. Em trabalhos semelhantes, realizados nos Estados de São Paulo e Santa Catarina, os coeficientes de desagregação de chuvas de 1 dia em 24 horas apresentam valores próximos a 1.10 (Genovez e Zuffo, 2000; Back *et al.*, 2012). Entretanto, o valor médio do coeficiente de desagregação das chuvas de 1 dia em 6 horas encontrado nesse trabalho foi de 0.53. Esse resultado infere que durante o dia, mesmo quando ocorre uma chuva de 6 h de duração, ao longo das demais 18 horas ocorrem outros eventos de menores durações, os quais, são responsáveis por produzir cerca de 50% do volume diário de chuva.

Apesar da adaptação da metodologia, com a redução da máxima duração da chuva diária, o ajuste dos coeficientes de desagregação, assim como, dos parâmetros da equação de Bell com os dados pluviográficos locais foram responsáveis por proporcionar melhores estimativas de chuvas em diferentes durações e tempos de retorno quando comparados com os coeficientes de DAEE-CETESB (1980) e Righetto (1998).

Embora o método de Bell ajustado proporcionar os melhores resultados esse pode ser limitado pela necessidade de conhecimento da precipitação padrão de 60 min e 2 anos de período de retorno. No caso da indisponibilidade das chuvas de h_2^{60} tanto o método de Bell com chuvas h_2^{1d} como o método de desagregação ajustado podem ser utilizados por proporcionarem estimativas semelhantes.

O uso da equação de Bell ajustada, mesmo quando utilizado a relação de chuva h_2^{1d} , pode ser vantajosa quando busca-se conhecer as chuvas máximas para durações inferiores a 120 min e 20 anos de período de retorno, devido a facilidade de aplicação da equação, contudo, caso deseja-se obter séries históricas de chuvas em diferentes durações por meio de dados pluviométricos, é indicado o uso dos coeficientes de desagregação.

Além disso, apesar de ambas as metodologias serem empíricas, o aumento significativo dos erros associados ao

se utilizar os parâmetros da equação ajustada por Righetto (1998) demonstram uma maior dependência do método de Bell com o local do ajuste, por outro lado a semelhança dos resultados encontrados entre as chuvas estimadas com os coeficientes de desagregação ajustados e os de CETESB sugerem que o método pode apresentar mais dependência às características do tipo de precipitação do que ao local em que os dados foram obtidos.

4. Conclusões

No estado de Mato Grosso, o coeficiente de desagregação das chuvas de 1 dia em 6 horas é de 0,53 e o coeficiente médio para desagregar chuvas de 6 h em 1 h é de 0,80, indicando a predominância de chuvas com curta duração e alta intensidade.

A calibração regional dos coeficientes da equação de Bell (1969) propicia melhores desempenhos estatísticos para a desagregação de dados diários de precipitação.

Ajustes locais de coeficientes de desagregação de chuvas diárias para menores durações apresentam menores espalhamentos e erros relativos médios com o aumento do tempo de retorno. Não são recomendadas aplicações generalizadas dos coeficientes estabelecidos pelo DAEE-CETESB (1980) e por Righetto (1998).

Agradecimentos

A Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA/CPRM) por ter disponibilizado as séries históricas de precipitação. À Capes (Código de Financiamento - 001).

Referências

- ANA, Agência Nacional de Águas. **HidroWeb: Sistemas de Informações Hidrológicas**. 2020. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>, acesso em 9 junho 2020.
- BACK, A.J.; OLIVEIRA, J.L.R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012. doi
- BELL, F.G. Generalized rainfall-duration- frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 95, n. 1, p. 311-327, 1969. doi
- BERTONI, J.C.; TUCCI, E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia**. Porto Alegre: EDUSP, ABRH, p. 177-231, 1993.
- CAVALCANTE, R.B.L.; DA SILVA FERREIRA, D.B.; PONTES, P.R.M.; TEDESCHI, R.G.; DA COSTA, C.P.W.; DE SOUZA, E.B. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. **Atmospheric Research**, v. 238, e104879, 2020. doi
- COSTA, J.C.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M.E.; da SILVA CARDOZO, F.; da SILVA, V.V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228-243, 2019. doi

- DAEE, CETESB - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo; Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**. 2nd ed. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, 464 p., 1980.
- DAMÉ, R.C.F.; PEDROTTI, C.B.M.; CARDOSO, M.A.G.C.; SILVEIRA, C.P.; DUARTE, L.A.; ÁVILA, M.S.V.; MOREIRA, A.C. Comparação entre curvas intensidade de duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.
- FIETZ, C.; COMUNELLO, E.; CREMON, C.; DALLACORT, R.; PEREIRA, S. **Chuvas Intensas no Estado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste Documentos, 119 p., 2010.
- GARCIA, S.S.; AMORIM, R.S.; COUTO, E.G.; STOPA, W.H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 575-581, 2011. doi
- GENOVEZ, A.M.; ZUFFO, A.C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 45-58, 2000.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados por Estado**. 2017. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt>, acesso em 9 junho 2020.
- KRAUSE, P.; BOYLE, D. P.; BÄSE, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in Geosciences**, v. 5, p. 89-97, 2005. doi
- LELIS, L.C.; NASCIMENTO, J.G.; DUARTE, S.N.; PACHECO, A.B.; BOSQUILIA, R.W.D.; WOLF, W. Assessment of hydrological regionalization methodologies for the upper Jaguarí River basin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 97, e102402, 2020. doi
- MARCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.D.R.; ROCHA, H.M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.
- MARTINS, J.A.; DALLACORT, R.; INOUE, M.H.; 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, p. 291-296, 2010.
- MELATI, M.D.; MARCUZZO, F.F.N. Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 722-739, 2016.
- MOSSINI JUNIOR, D.; RAMOS, H.C.; DALLACORT, R.; SILVA, F.S. Distribuição e probabilidade de precipitação para Nova Mutum, Mato Grosso, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, p. 435-447, 2016.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552 p., 2007.
- NASCIMENTO, D.T.F.; NOVAIS, G.T. Clima do Cerrado: Dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Eliséé**, v. 9, n. 2, e922021, 2020.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil: Introdução à climatologia dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 34, n. 4, p. 3-30, 1972.
- OLIVEIRA, L.F.C.; VIOLA, M.R.; PEREIRA, S.; MORAIS, N.R. Modelos de previsão de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.
- PEREIRA, D.R.; MARTINEZ, M.A.; ALMEIDA, A.Q.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; ZONTA, J.H. Hydrological simulation using SWAT model in headwater basin insoutheast Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 789-799, 2014. doi
- PEREIRA FILHO, A.J.; CARBONE, R.E.; TUTTLE, J.D. Convective rainfall systems in the La Plata Basin. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, n. 4, p. 757-778, 2014. doi
- PPAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação Entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas em 98 Postos com Pluviógrafos**. Rio de Janeiro: DNOCS, 419 p., 1957.
- PIZZATO, J.A.; DALLACORT, R.; TIEPPO, R.C.; MODOLO, A.J.; CREMON, C.; MOREIRA, P.S.P. Distribuição e probabilidade de ocorrência de precipitação em Cáceres (MT). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 137-142, 2012. doi
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.D.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. doi
- RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 840 p., 1998.
- SABINO, M.; SOUZA, A.P.; ULIANA, E.M.; LISBOA, L.; ALMEIDA, F.T.D.; ZOLIN, C.A. Intensity-duration-frequency of maximum rainfall in Mato Grosso State. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2020. doi
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E.J. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 4, p. 1290-1309, 2007. doi
- SELUCHI, M.E. Geadas e friagens. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA N.J.; SILVA M.G.A.J.; DIAS M.A.F.S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 149-167, 2009.
- SEPLAN, Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão de Mato Grosso. **Zoneamento 2018**. Disponível em http://www.seplan.mt.gov.br/-/10951395-zoneamento-2018?ciclo=cv_gestao_inf, acesso em 23 nov. 2021.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br/>, acesso em 1 Jan 2019.
- SILVA, I.L.; AMORIM, R.S.S.; TORRES, G.N. Calibração do modelo de Bell para estimativa de chuvas intensas para sete estações meteorológicas de Mato Grosso. **Geografia**, v. 41, n. 3, p. 429-446, 2016.
- SOUZA, A.P.; MOTA, L.L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C.C.; ALMEIDA, F.T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013. doi
- STONE, R.J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993. doi

TORRES, F.T.P.; MACHADO, P.J.O. **Introdução à Climatologia. Série Textos Básicos de Geografia.** Ubá: Geographica, 234 p., 2008.

WESCHENFELDER, A.B.; RODRIGUES, B.D.; KLERING, E.V.; ALVES, R.C.M. Identificação de precipitações convectivas para série de precipitações máximas anuais de Porto Alegre-RS na primavera. In: **Anais IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia**, Santa Maria, 2015.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.