

Equação de Chuvas, Chapadão do Sul – MS - Intensidade – Duração – Frequência de Chuvas

Equación de La Lluvia, Chapadão do Sul - MS - Intensidad De La Lluvia - Duración – Frecuencia

Marili Siqueira da Silva

Cientista Social, aprovada pelo comitê científico do CAPES, autora do livro “Análise para o Futuro, publicado em 2020, vendido em mais de 60 países, é escritora e autora de outros livros acadêmicos e de cadernos de atividade de práticas supervisionadas. É mestra em Ministry in Business Administration pela Florida Christian University/ FCU/USA. É mestranda em Engenharia Civil na Unicamp, pós graduada em Gestão Empresarial e Financeira pelo Centro Universitário de Santo Andre - Unia , pós graduada em Logística e Processos Industriais pela Faculdade de Ciências Gerenciais de Jundiaí - FCG, MBA em Gestão de Negócios Internacionais pela Florida Christian University - FCU/USA, pós graduada em Estratégias de Marketing Aplicadas ao Turismo e Hotelaria pela Universidade de São Paulo - USP, pós graduada em Gestão de Pessoas pelo Centro Universitário Ibero-Americano - Unibero, pós graduada em Didática do Ensino Superior pela Faculdade Politecnica de Jundiaí - Anhanguera, pós graduada em Metodologias Ativas – Unifaj, pós graduada em Estética Avançada pela Uniasselvi, graduada Bacharel em Administração de Empresas pelo Centro Universitário de Santo Andre - Unia e graduada Bacharel em Ciências Contábeis pela Unifaj, graduada em Matemática pela Uniasselvi. É Professora universitária com vasta experiência no setor, atuando como Docente, Coordenadora e Diretora de Instituição de Ensino, com 23 anos de experiência em cursos de graduação em Administração, Tecnólogos e Engenharia e há 16 anos em cursos de Pós-graduação. Experiência profissional de 31 anos na área administrativa, financeira e produção. Foi Diretora Executiva de Estratégias em empresa do setor de Franquia e Diretora Executiva no setor de Energia Elétrica, Consultora e Assessora em Gestão Empresarial desde 2001. Exerce Mentoria e Coaching de Gestores e Executivos de diferentes setores de negócio. É palestrante na área de Gestão de Negócio e Gestão Estratégica, entre outros temas. Como professora de graduação e pós-graduação, leciona diferentes disciplinas: Engenharia de Manutenção, Engenharia Econômica, Pesquisa Operacional, Gestão da Qualidade, Gestão de Pessoas, Administração Financeira e Orçamentária, Custos de Produção, Gestão Estratégica, Competências Profissional, PCP, Processos de Fabricação, Projeto do Produto, Gerenciamento de Projetos e Logística, Gestão de Obras, Mecânica e Fluidos, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Empreendedorismo, Metodologia Científica, TCC, Estágio, entre outras. Atualmente é Diretora de Polo Educacional IEMS – Instituto Educacional Marili Siqueira, Universidade Uniasselvi.
E-mail: marilisiq50@gmail.com

Dirceu Groto

Engenheiro de Agrimensura pela FAEP (Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga- SP), e Engenheiro Civil pela Unifaj, graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, pós graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho, é Técnico de Agropecuária, Técnico em Agrimensura, mais de 25 anos de experiência em Projetos Ambientais (DAEE, Cetesp, Ibama, Ana, entre outros órgãos), especialista em georeferenciamento de imóveis rurais e loteamento
E-mail: agrotopojales@gmail.com

Autimio Wanderley Antunes

Engenheiro de Agrimensura Pela FAEP (Faculdade de Engenharia de Agrimensura de Pirassununga- SP), e Engenheiro Civil pela Unifaj, profissional com mais de 30 anos na área de construção civil e loteamento.



RESUMO

O presente artigo científico trata sobre chuvas intensas desenvolvido, nasceu da necessidade de determinar as relações Intensidade – Duração – Freqüência (IDF) de chuvas intensas ocorridas na localidade de Chapadão do Sul Estado do Mato Grosso do Sul. As generalidades de Chapadão do Sul-MS: Lat. 18°47'38" S, Long. 52°37'06" W, altitude 814,78 metros, clima tropical úmido (estação chuvosa no verão e seca no inverno), temperatura anual 13° a 28°C (médias anual), precipitação pluviométrica 1850 mm (média anual), solo latossolo vermelho profundo e solo misto (arenoso/argiloso liso) e relevo um terço do município compreende um planalto totalmente mecanizável com altitude média de 820,00 m e o restante é formado de áreas mais baixas, 500 à 600m de altitude, levemente onduladas. Para determinar as relações IDF para a localidade de Chapadão do Sul-MS foram analisados os registros pluviométricos de intensidade máxima diária do pluviômetro da Estação Pluviométrica da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2020), estação Cidade Chapadão dos Gauchos, código 1852003, latitude 18°41' 24"S longitude 52°35'24"W e altitude 721,00m, com 37 anos de dados históricos de máximas diárias de 1983 a 2019, não foi computado o ano de 1994 porque os dados não tinham consistência, com os dados pluviométrico de máximas diárias anual, utilizando a distribuição de Gumbel, determinou-se as freqüências esperadas para os seguintes tempos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. De posse das máximas de um dia para os vários períodos de retorno, conforme a distribuição de Gumbel (Righetto, 1998), foi usada as relações entre as alturas pluviométricas para deduzir as precipitações máximas em intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 e 120 minutos através do método de desagregação de máximas diárias. Com estes dados ajustou-se a equação de chuvas intensas para a localidade de Chapadão do Sul, que representa as relações Intensidade – Duração – Freqüência.

Palavras-chave: Duração, Chuva, Freqüência, Intensidade, Precipitação

RESUMEN

El presente artículo científico trata de las lluvias intensas desarrolladas, nacido de la necesidad de determinar las relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) de lluvias intensas ocurridas en la localidad de Chapadão do Sul Estado de Mato Grosso do Sul. Las características generales de Chapadão do Sul-MS son: Lat. 18°47'38" S, Long. 52°37'06" O, altitud 814,78 metros, clima tropical húmedo (estación lluviosa en verano y seca en invierno), temperatura anual 13° a 28°C (medias anuales), precipitación 1850 mm (media anual), suelo latosol rojo profundo y suelo mixto (arenoso/arcilloso liso) y relieve un tercio del municipio comprende una meseta totalmente mecanizable con una altitud media de 820,00 m y el resto está formado por áreas más bajas, 500 a 600m de altitud, ligeramente onduladas. Para determinar las relaciones IDF para la localidad de Chapadão do Sul-MS fueron analizados los registros pluviométricos de máxima intensidad diaria del pluviómetro de la Estación Pluviométrica de la Agencia Nacional de Aguas (ANA, 2020), estación Ciudad Chapadão dos Gauchos, código 1852003, latitud 18°41'24 "S longitud 52°35'24 "O y altitud 721, 00m, con 37 años de datos históricos de máximos diarios de 1983 a 2019, no se computó el año 1994 porque los datos no tenían consistencia, con los datos de precipitación anual de máximos diarios, utilizando la distribución de Gumbel, se determinaron las frecuencias esperadas para los siguientes tiempos de retorno: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 años. Con los máximos de un día para los diversos períodos de retorno, según la distribución de Gumbel (Righetto, 1998), se utilizaron las relaciones entre las alturas de precipitación para deducir la precipitación máxima en intervalos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60 y 120 minutos mediante el método de desagregación de los máximos diarios. Con estos datos, se ajustó una ecuación de lluvias intensas para la localidad de Chapadão do Sul, que representa las relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia.

Palabras clave: Duración, Lluvia, Frecuencia, Intensidad, Precipitación

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de precipitação por ser um processo aleatório não permite uma previsão determinística com grande antecedência. O conhecimento prévio das características de precipitação é imprescindível na engenharia pela frequente aplicação nos projetos relacionados com controle e aproveitamento de recursos hídricos na zona urbana e rural, bem como nos projetos de terraceamento, extravasores de barragens, galerias pluviais, na microdrenagem urbana ou canais no caso da macrodrenagem, canais laterais e bueiros na drenagem de estradas, etc. É necessário que o engenheiro conheça a vazão de projeto, e esta é calculada com base numa chuva de projeto.

O problema técnico a se resolver é a escolha de chuva de projeto para se dimensionar a estrutura hidráulica. Para essa escolha deve-se preferencialmente usar uma equação de chuvas intensas, ajustada para a localidade em que está a referida estrutura. Para apoiar as obras hidráulicas na cidade de Chapadão do Sul-MS, é apresentada neste artigo a equação de chuvas intensas que exprimem as relações, Intensidade – Duração – Freqüência de Chuvas local.

A caracterização da variabilidade temporal das chuvas intensas é, ao longo de sua duração, imprescindível para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados, pelo controle do escoamento superficial em áreas urbanas e rurais conforme (Cruciani et al., 2002; Beijo et al., 2003). A relação intensidade-duração-freqüência (IDF) de chuvas intensas, tem sido usada como ferramenta importante na previsão de eventos extremos empregados na elaboração de obras de drenagem, nos mais diversos campos da engenharia.

Normalmente, essas relações são representadas por modelos matemáticos gerados a partir de uma série de dados pluviográficos obtidos para cada localidade conforme (Genovez & Zuffo, 2000), após ampla revisão sobre os métodos de estimativa de chuvas intensas para o Estado de São Paulo, concluíram que os métodos que se baseiam nas relações entre chuvas intensas de diferentes durações têm validade regional. Ainda de acordo com os autores, para estimativas locais é conveniente se estabelecer novos coeficientes relacionados às características locais dos micro climas. Existem pesquisas dedicado à tarefa de gerar informações regionalizadas para estados que tenham estações com séries contínuas de dados. O trabalho pioneiro nesse sentido é o estudos de chuvas intensas no Brasil publicado por Pfafstetter (1957).

2 BASE DE ESTUDO

2.1 CHAPADÃO DO SUL - MS

O obstáculo para a reprodução dos modelos que descreve a relação de Intensidade – Duração – Frequência (IDF) está na ausência de registros pluviográficos ou baixa densidade destes registros. Ancorado na grande quantidade de pluviômetros instalados para atender prioritariamente ao setor de geração de energia de energia elétrica, alguns métodos foram implementados e desenvolvidos no Brasil, dos quais os mais utilizados é método das isozonas e da desagregação da chuva de um dia registrado pelas estações pluviométricas, para chuvas de 24h e menores durações conforme (Oliveira et al.,2005).

Chuvas de 24 horas e de um dia guardam uma relação quase constante, independentemente do período de retorno, cujo valor encontrado no Brasil é de 1,14 conforme (Occhipinti & Santos, 1966), semelhante ao valor adotado pelo U.S. Weather Bureau agência Americana, que é de 1,13 (Tucci, 1993). Relações constantes entre chuvas de diferentes durações também foram verificadas no Brasil (CETESB, 1980; Assad et al., 1992; Eltz et al., 1992; Vieira et al., 1994; Pinto et al., 1996), com valores bastante próximos dos adotados pelo Weather Bureau. Outros pesquisadores têm demonstrado que as relações verificadas nos Estados Unidos são aplicáveis, em geral, em outras partes do mundo.

Neste estudo, a obtenção das relações de intensidade, duração e frequência de precipitações para Chapadão do Sul, utilizou-se a metodologia de desagregação das chuvas de máxima diária anual registrado pela Estação Pluviométrica da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2020), 37 anos de dados históricos de máximas diárias de 1983 a 2019.

2.2 ESTAÇÃO:

Código -1852003

Nome - CIDADE CHAPADÃO DOS GAUCHOS

Latitude - 18° 41' 24"S Longitude - 52° 35' 24" W Altitude - 721m



3 INTENSIDADE – DURAÇÃO – FREQUÊNCIA DE CHUVAS

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS - CHAPADÃO DO SUL - MS

3.1.1 Materiais e Métodos

A estimativa da frequência das Chuvas pode ser feita empregando o método empírico e o método estatístico (Back, 2002).

3.2 MÉTODO EMPÍRICO

- dados ordenado em ordem decrescente
- estabelecer um número de ordem m
- calcular a frequência F
- calcular o período de retorno T
- número de dados da série n(37)

$$F = \frac{m}{n+1} \quad (01)$$

$$T = \frac{1}{F} \quad (02)$$

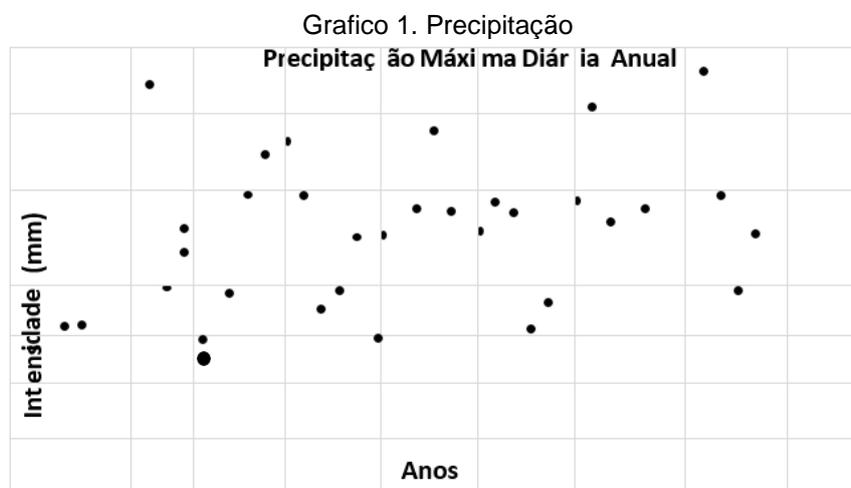
Tabela 1. Dados coletados da estação – Cidade Chapadão dos Gauchos

Ano	Precipitação Máx. Anual	Precipitação Ordenada	m	$F = \frac{m}{n+1}$	$T = \frac{1}{F}$
1983	63,80	129,90	1	0,0263	38,00
1984	64,40	127,80	2	0,0526	19,00
1985	120,20	125,00	3	0,0789	12,67
1986	125,00	120,20	4	0,1053	9,50
1987	79,10	112,50	5	0,1316	7,60
1988	85,20	108,60	6	0,1579	6,33
1989	82,40	103,20	7	0,1842	5,43
1990	80,00	99,30	8	0,2105	4,75
1991	60,00	98,50	9	0,2368	4,22
1992	76,40	98,20	10	0,2632	3,80
1993	98,50	97,60	11	0,2895	3,45
1994	103,20	96,10	12	0,3158	3,17
1995	108,60	94,90	13	0,3421	2,92



1996	98,20	93,20	14	0,3684	2,71
1997	70,50	92,70	15	0,3947	2,53
1998	77,00	91,50	16	0,4211	2,38
1999	81,30	90,70	17	0,4474	2,24
2000	82,30	87,30	18	0,4737	2,11
2001	60,60	85,20	19	0,5000	2,00
2002	93,20	83,70	20	0,5263	1,90
2003	112,50	82,70	21	0,5526	1,81
2004	91,50	82,40	22	0,5789	1,73
2005	83,70	82,30	23	0,6053	1,65
2006	94,90	81,30	24	0,6316	1,58
2007	90,70	80,30	25	0,6579	1,52
2008	62,70	80,00	26	0,6842	1,46
2009	72,80	79,10	27	0,7105	1,41
2010	96,10	77,20	28	0,7368	1,36
2011	127,80	77,00	29	0,7632	1,31
2012	87,30	76,40	30	0,7895	1,27
2013	80,30	72,80	31	0,8158	1,23
2014	92,70	70,50	32	0,8421	1,19
2015	99,30	64,40	33	0,8684	1,15
2016	129,90	63,80	34	0,8947	1,12
2017	97,60	62,70	35	0,9211	1,09
2018	77,20	60,60	36	0,9474	1,06
2019	82,70	60,00	37	0,9737	1,03

Fonte:(ANA, 2020).



Fonte: (ANA, 2020).



3.3 MÉTODO ESTATÍSTICO

Existem várias distribuições probabilísticas que podem ser usadas no estudo de chuvas intensas como a distribuição Log-Normal, distribuição Pearson e a distribuição de extremos Tipo I, também chamada de distribuição de Gumbel. Para chuvas intensas, existem vários trabalhos mostrando que a distribuição de Gumbel, se ajusta bem e, por isso, tem sido largamente empregada conforme (Back, 2002). A probabilidade de ocorrer no futuro um evento menor ou igual a X (altura pluviométrica associada a um período de retorno T em milímetro (mm)), é dada por:

$$P[X \leq x] = e^{-e^{-y}} \quad (03)$$

Dessa forma, a Probabilidade de ocorrer um evento X maior ou igual é dado por:

$$P[X \geq x] = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (04)$$

Sendo: P = probabilidade
 e = base exponencial número de Euler y = variável reduzida



Para analisar as maiores precipitações para fins de projeto hidráulicos, será usado a distribuição de Gumbel, conforme Righeto (1998 p.190).

$$\beta = \sqrt{6.S/\pi(05)}$$

$$\alpha = (\mu - 0,577\beta) \quad (06)$$

Sendo: S = desvio padrão

μ = média

$$y = -\ln\left\{-\ln\left[1 - \left(\frac{1}{T}\right)\right]\right\} \quad (07) = (X - a)/\beta \quad (08)$$

Altura pluviométrica associada a um período de retorno T(mm):

$$X = \alpha - \beta \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \quad (09)$$

Tabela – 2 Altura pluviométrica para vários períodos de retorno – T

Período de Retorno - T	Probabilidade	Probabilidade	Variável Reduzida - y	Precipitação Estimada - X
Anos	P(X≥x)	P(X≤x)		mm
2	0,5000	0,5000	0,3665	85,8894
5	0,2000	0,8000	1,4999	102,1444
10	0,1000	0,9000	2,2504	112,9067
15	0,0667	0,9333	2,6738	118,9786
20	0,0500	0,9500	2,9702	123,2300
25	0,0400	0,9600	3,1985	126,5048
50	0,0200	0,9800	3,9019	136,5926
100	0,0100	0,9900	4,6001	146,6060

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

3.3.1 Teste Kolmogorov-Sminorv

Para cada série de valores extremos e diferentes tempos de duração verificou-se, pelo teste de Kolmogorov-Sminorv, para um nível de significância de 1%, a aderência dos dados observados à distribuição de Gumbel (Eq. 09).

1. Média: 119,11mm
2. Desvio Padrão: 19,14mm
3. Dteste: $D_n(0,0995; 0,1230)$
4. Numero da Amostra: $n=8$
5. Nivel de Significância: $\alpha=1\%$
6. Komogorov-Smirnov Dcritico: 0,37
7. $D_n < 0,37$

H_0 = não existe evidência para rejeitar hipótese de normalidade dos dados

3.3.2 Desagregação

A desagregação de chuvas máximas diárias permite obter diferentes durações utilizando a Tabela 2. Para se obter a chuva de 24h.

Tabela 3. Constantes do modelo de desagregação de Chuvas Intensas Diárias.

Relação	Constante	Desagregada
24h/1d	1,14	24h
12h/24h	0,85	12h
10h/24h	0,82	10h
8h/24h	0,78	8h
6h/24h	0,72	6h
4h/24h	0,63	4h
2h/24h	0,52	2h
1h/24h	0,42	1h
30min/1d	0,74	30min
25min/30min	0,91	25min
20min/30min	0,81	20min
15min/30min	0,70	15min
10min/30min	0,54	10min
5min/30min	0,34	5min

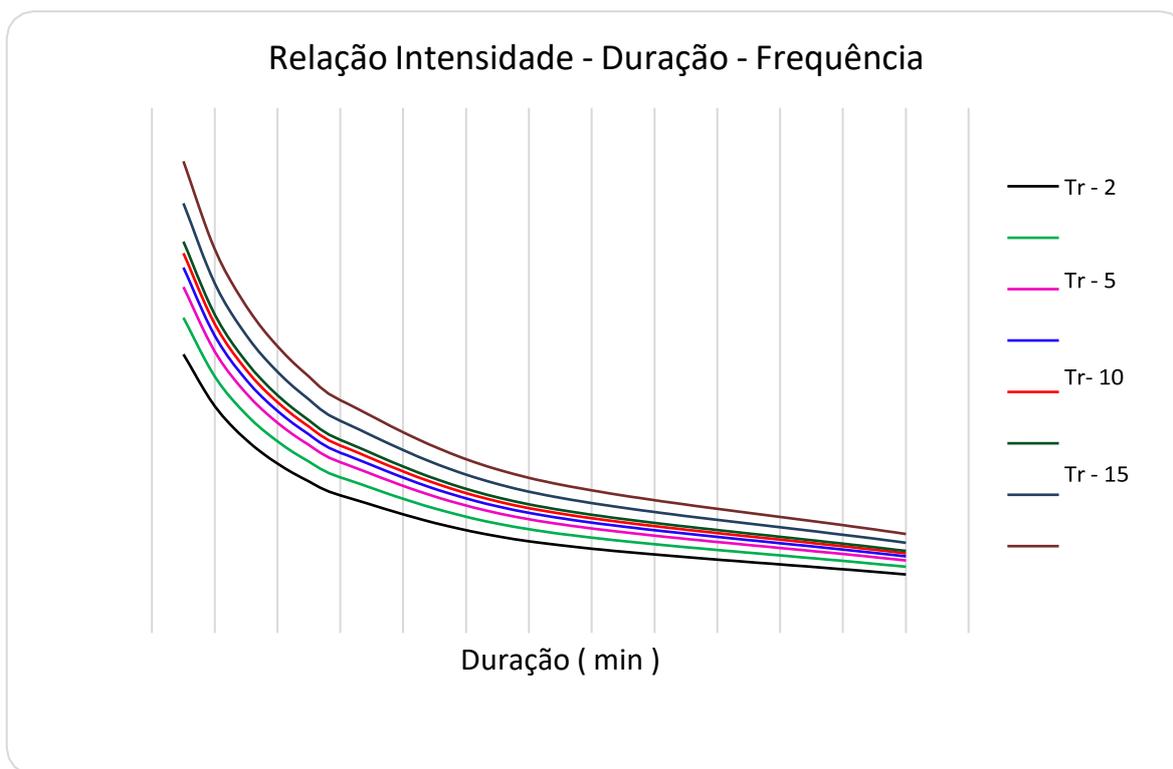
Fonte:(Occhipinti & Santos, 1966).

Tabela 4. Intensidades máximas de chuvas esperadas (mm/h)

Duração Minuto	Período de retorno T - (anos) - mm/h							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	124,1611	147,6593	163,2171	171,9946	178,1405	182,8744	197,4573	211,9326
10	98,5985	117,2588	129,6136	136,5840	141,4645	145,2238	156,8043	168,2994
15	85,2086	101,3348	112,0117	118,0355	122,2533	125,5020	135,5099	145,4439
20	73,9489	87,9441	97,2102	102,4380	106,0984	108,9178	117,6033	126,2245
25	66,4627	79,0411	87,3691	92,0677	95,3576	97,8916	105,6977	113,4463
30	60,8633	72,3820	80,0084	84,3111	87,3238	89,6443	96,7928	103,8885
60	41,1239	48,9067	54,0597	56,9670	59,0025	60,5705	65,4005	70,1949
120	25,4576	30,2756	33,4655	35,2653	36,5254	37,4960	40,4861	43,4540
24horas	97,9139	116,4446	128,7136	135,6356	140,4823	144,2154	155,7156	167,1308
Um dia	85,8894	102,1444	112,9067	118,9786	123,2300	126,5048	136,5926	146,6060

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

Grafico 3. Relação Intensidade



Fonte: Desenvolvido pelos Autores

Tabela 5. Intensidades máximas de chuvas esperadas (mm/min)

Duração Minuto	Período de retorno T - (anos) - mm/min							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	2,0694	2,4610	2,7203	2,8666	2,9690	3,0479	3,2910	3,5322
10	1,6433	1,9543	2,1602	2,2764	2,3577	2,4204	2,6134	2,8050
15	1,4201	1,6889	1,8669	1,9673	2,0376	2,0917	2,2585	2,4241
20	1,2325	1,4657	1,6202	1,7073	1,7683	1,8153	1,9601	2,1037
25	1,1077	1,3174	1,4562	1,5345	1,5893	1,6315	1,7616	1,8908
30	1,0144	1,2064	1,3335	1,4052	1,4554	1,4941	1,6132	1,7315
60	0,6854	0,8151	0,9010	0,9494	0,9834	1,0095	1,0900	1,1699
120	0,4243	0,5046	0,5578	0,5878	0,6088	0,6249	0,6748	0,7242

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

4 EQUAÇÃO DE CHUVA

4.1 OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS

Confirmado aderência dos dados à distribuição de Gumbel, para cada série de duração de chuva, realizaram-se as estimativas das chuvas máximas para diferentes períodos de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos). Com os valores estimados de chuvas máximas para diferentes tempos e períodos de retorno, estimaram-se os parâmetros utilizados nas equações que expressam as relações IDF, para cada estação, pelo método dos mínimos quadrados. A equação de chuvas intensas pode ser escrita como (Back, 2002).

$$i = \frac{KT^m}{(t+d)^n} \text{ ou } i = \frac{C}{(t+d)^n} \quad (10)$$

As curvas que representam a intensidade-duração ver Gráfico 3 pag.14, foram transformadas em retas aplicando logaritmo na equação (10), obtendo a equação geral (11). Os parâmetros foram determinados pela análise de regressão linear com auxílio das equações (11) e (12).



$$(11) \quad \log j = \log C - n \log(t + d)$$

$$y = a + bx$$

$$(12) \quad y = \log j \quad a = \log C \quad b = -n \quad x = \log(t + d)$$

4.2 ESTIMATIVA DO PARÂMETRO D

A estimativa do valor do parâmetro d da Equação de Chuvas Intensas (10) pode ser feito por regressões entre a intensidade de chuva com cada período de retorno separadamente e os valores de (t+ d) para diferentes valores de d, obtendo-se assim, por tentativa, o valor de d que resultar no maior valor do coeficiente de determinação (R²), o coeficiente de determinação é igual ao coeficiente de correlação r elevado ao quadrado.

Coeficiente de Correlação, usado é dado pela formula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

Regressão linear:

$$a + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) b = \sum_{i=1}^n y_i \quad (14)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (15)$$

Para estimar o valor de d pode-se realizar regressões entre a intensidade de chuva com dado período de retorno, normalmente utiliza o período de retorno de T=10 anos, e os valores de (t+d) para diferentes valores de d, obtendo por tentativa, o valor que resultar no maior valor de R², como exemplo a Tabela 6.

Tabela 6. Estimativa do parâmetro d para intensidade i (mm/min)

t	i	Log (t + d)						
		T = 2	Log (i)	Log (t+10,40)	Log (t+10,30)	Log (t+10,25)	Log (t+10,20)	Log (t+10,10)
5	2,720284	0,434614	1,187521	1,184691	1,183270	1,181844	1,178977	1,176091
10	2,160226	0,334499	1,309630	1,307496	1,306425	1,305351	1,303196	1,301030
15	1,866862	0,271112	1,404834	1,403121	1,402261	1,401401	1,399674	1,397940
20	1,620169	0,209560	1,482874	1,481443	1,480725	1,480007	1,478566	1,477121
25	1,456152	0,163207	1,549003	1,547775	1,547159	1,546543	1,545307	1,544068
30	1,333473	0,124984	1,606381	1,605305	1,604766	1,604226	1,603144	1,602060
60	0,900995	- 0,045278	1,847573	1,846955	1,846646	1,846337	1,845718	1,845098
120	0,557759	- 0,253554	2,115278	2,114944	2,114778	2,114611	2,114277	2,113943
R²			0,9995076	0,9995093	0,9995096	0,9995095	0,9995083	0,9995055

Fonte: Desenvolvido pelos Autores
 Logo o R²= 0,9995096 é o maior valor **d= 10,25**

4.3 ESTIMATIVA DO PARÂMETRO C e n

A estimativa do valor do parâmetro C ($C = K T m$) e n da Equação de Chuvas Intensas (10) utiliza-se novamente regressão linear por transformação como exemplo a Tabela - 7.

Tabela 7 Estimativa do parâmetro C e n

Log (t+10,25)	Intensidades máximas dos respectivos (T)							
	Log (i-2)	Log (i-5)	Log (i-10)	Log (i-15)	Log (i-20)	Log (i-25)	Log (i-50)	Log(i-100)
1,181844	0,315834	0,391109	0,434614	0,457364	0,472611	0,484002	0,517322	0,548046
1,305351	0,215719	0,290994	0,334499	0,357249	0,372496	0,383886	0,417207	0,447931
1,401401	0,152332	0,227607	0,271112	0,293862	0,309109	0,320500	0,353820	0,384544
1,480007	0,090781	0,166056	0,209560	0,232310	0,247557	0,258948	0,292268	0,322993
1,546543	0,044427	0,119702	0,163207	0,185956	0,201204	0,212594	0,245914	0,276639
1,604226	0,006204	0,081479	0,124984	0,147734	0,162981	0,174371	0,207692	0,238416
1,846337	-0,164057	-0,088782	-0,045278	-0,022528	-0,007281	0,004110	0,037430	0,068155
2,114611	-0,372333	-0,297058	-0,253554	-0,230804	-0,215556	-0,204166	-0,170846	-0,140121
B	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229
A	1,172180	1,247455	1,290959	1,313709	1,328957	1,340347	1,373667	1,404392
C =	14,865502	17,678874	19,541571	20,592489	21,328315	21,895094	23,641072	25,374157
n = - B	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229	-0,728229

Logo n é a média de **-B** desta forma **n= 0,728229**

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

4.4 ESTIMATIVA DO PARÂMETRO K e m

A estimativa do valor do parâmetro K e m da Equação de Chuvas Intensas (10) utiliza-se novamente regressão linear por transformação como exemplo a Tabela - 8.

Tabela 8 Estimativa do parâmetro K e m

T	2	5	10	15	20	25	50	100
Log C	1,17218	1,24745	1,29096	1,31371	1,32896	1,34035	1,37367	1,40439
Log T	0,30103	0,69897	1,00000	1,17609	1,30103	1,39794	1,69897	2,00000

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

$$\log C = \log K - m \log T \quad (16)$$

$$y = a + bx$$

$$K = 10^a \quad (17) \quad b=m$$

Dessa forma obtém-se:

- ✓ a = 1,147985852
- ✓ b = 0,134507379
- ✓ R² = 0,9828
- ✓ K = 14,06mm/min
- ✓ K = 843,60mm/h
- ✓ m = 0,1345

A equação de chuvas intensas da Cidade de Chapadão do Sul-MS pode ser escrita da seguinte forma:

$$i = \frac{140600T^{-0,1345}}{(t+10,25)^{0,7282}} = \text{mm/min} \quad (18)$$

$$i = \frac{8436000T^{-0,1345}}{(t+10,25)^{0,7282}} = \text{mm/h} \quad (19)$$

4.5 AJUSTE

Para verificar a qualidade do ajuste, pode-se calcular o erro padrão de estimativa para cada período de retorno conforme (Back, 2002).

$$E_p = \sqrt{\frac{\sum (io - ie)^2}{n}} \quad (20)$$

Onde: = erro padrão em mm
 = intensidade esperada pela distribuição de Gumbel
 = intensidade estimada pela equação
 = número de intervalos considerados

Tabela 9. Intensidade de chuva esperada pela distribuição de Gumbel

Duração Minuto	Intensidade de chuva esperada - Período de retorno T - (anos) - mm/h							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	124,1611	147,6593	163,2171	171,9946	178,1405	182,8744	197,4573	211,9326
10	98,5985	117,2588	129,6136	136,5840	141,4645	145,2238	156,8043	168,2994
15	85,2086	101,3348	112,0117	118,0355	122,2533	125,5020	135,5099	145,4439
20	73,9489	87,9441	97,2102	102,4380	106,0984	108,9178	117,6033	126,2245
25	66,4627	79,0411	87,3691	92,0677	95,3576	97,8916	105,6977	113,4463
30	60,8633	72,3820	80,0084	84,3111	87,3238	89,6443	96,7928	103,8885
60	41,1239	48,9067	54,0597	56,9670	59,0025	60,5705	65,4005	70,1949
120	25,4576	30,2756	33,4655	35,2653	36,5254	37,4960	40,4861	43,4540

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

Tabela 10. Intensidade de chuva esperada pela equação (19)

Duração Minuto	Intensidade de chuva estimada pela equação - Período de retorno T (anos)mm/h							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	127,3317	144,0331	158,1077	166,9701	173,5577	178,8459	196,3223	215,5066
10	103,5741	117,1594	128,6080	135,8168	141,1753	145,4768	159,6925	175,2973
15	88,1984	99,7669	109,5159	115,6545	120,2176	123,8805	135,9859	149,2741
20	77,3251	87,4675	96,0146	101,3965	105,3970	108,6084	119,2213	130,8714
25	69,1738	78,2470	85,8931	90,7077	94,2864	97,1593	106,6535	117,0754
30	62,8045	71,0423	77,9844	82,3556	85,6048	88,2132	96,8332	106,2955
60	41,8646	47,3557	51,9832	54,8970	57,0629	58,8016	64,5476	70,8550
120	26,7046	30,2073	33,1591	35,0177	36,3993	37,5083	41,1736	45,1970

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

Tabela 11. Intensidade de chuva esperada pela equação (19)

Duração Minuto	Quadro dos desvios entre a precipitação esperada e estimada							
	Período de retorno T (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	10,0524	13,1489	26,1053	25,2462	21,0020	16,2288	1,2882	12,7734
10	24,7565	0,0099	1,0112	0,5886	0,0836	0,0640	8,3415	48,9712
15	8,9385	2,4583	6,2291	5,6691	4,1442	2,6293	0,2265	14,6704
20	11,3990	0,2272	1,4293	1,0847	0,4920	0,0958	2,6182	21,5933
25	7,3501	0,6307	2,1786	1,8498	1,1473	0,5363	0,9134	13,1709
30	3,7683	1,7949	4,0966	3,8240	2,9548	2,0482	0,0016	5,7936
60	0,5486	2,4057	4,3118	4,2847	3,7622	3,1290	0,7276	0,4357
120	1,5549	0,0047	0,0939	0,0613	0,0159	0,0002	0,4727	3,0380
Soma	68,3683	20,6803	45,4558	42,6083	33,6019	24,7316	14,5898	120,4464
Erro Padrão	2,9234	1,6078	2,3837	2,3078	2,0494	1,7583	1,3505	3,8802

Fonte: Desenvolvido pelos Autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista do que foi apresentado, as chuvas intensas tem origem nas precipitações do tipo convectiva as chamadas “chuvas de verão ou de convecção”, logo existe uma grande semelhança entre as relações de intensidade – duração – frequência em qualquer lugar, podendo assim utilizar uma equação desenvolvida para determinada região ser aplicado em locais próximos porém vale destacar que a precipitação varia geograficamente, temporal e sazonalmente. É imprescindível o conhecimento da distribuição e variação da precipitação, tanto no tempo como no espaço para estudos hidrológicos. A equação de chuvas intensas ajustada para Chapadão do Sul foi desenvolvida a partir de informações obtidas da Estação Pluviométrica da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2020), com 37 anos de dados históricos de máximas diárias de 1983 a 2019.

Pelo fato das informações de precipitações serem obtido através de informações apartir de um pluviômetro foi utilizado o método de desagregação de chuvas de um dia em chuvas menores, a desagregação de chuvas é uma importante ferramenta para suprir a ausência de informações históricas de precipitações com registros feitos com durações menores obtidas apartir de pluviógrafo. O método de desagregação da chuva de um dia só deve ser descartado no caso da existência de registros feitos para durações menores pela presença de pluviógrafo. Entretanto, tal método fornece resultados aceitáveis e



continua sendo recomendado para aqueles casos nos quais só se dispõe de registros feitos em pluviômetros.

A equação de chuva formulada para Chapadão do Sul apresentou uma boa estabilidade de acordo com os procedimentos de análises de riscos apresentados no trabalho, podendo desta forma a equação IDF contribuir significativamente para o dimensionamento de projetos hidrológicos no município de Chapadão do Sul-MS.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas. <http://hidroweb.ana.gov.br..> 2020.

ASSAD, E.D.; MASUTOMO, R. & ASSAD, M.L.L. Estimativa das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:677-686, 1992.

BACK, Álvaro José. Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina. Epagri. Florianópolis.2002.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. Hidrologia e Recursos Hídricos.EESC USP Projeto Reenge. São Carlos. 1998.

Pfaffstetter, O. Chuvas intensas no Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957. 246p.

Cruciani, D. E.; Machado, R. E.; Sentelhas, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1,p.76-82, 2002.

DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana:Manual de projeto. São Paulo: DAEE-CETESB, 1980. 466p.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M. & CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas de Santa Maria, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:265-269,1992.

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.

OCCHIPINTI, A.G. & SANTOS, P.M. Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de “24 horas” na cidade de São Paulo. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico,USP. 1966. 26p.

Oliveira, L. F. C.; Cortês, F. C.; Wehr, T. R.; Borges, L. B.; Sarmiento,P. H. L.; Griebeler, N.

P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás eDistrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, n.1,

PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R. &CECON, P.R. Estimativa de chuvas intensas no estado de Minas Gerais utilizando registros diários. *Eng. Agr.*, 16:8- 21,1996.