

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS DA CHUVA NO BRASIL¹

JOSÉ ELOIR DENARDIN² e PEDRO LUIZ DE FREITAS³

RESUMO - São calculadas as intensidades máximas médias a partir da determinação dos parâmetros da equação matemática que relaciona as características fundamentais da chuva, que são: intensidade (em mm/hora), tempo de duração (em minutos) e tempo de retorno (em anos), visando dar subsídios aos estudos de engenharia e hidrologia, principalmente para projetos de conservação dos solos. Foram relacionadas as características da chuva de um total de oitenta estações climatológicas, distribuídas por todo o País, através do ajustamento de equações matemáticas pelo método de regressão múltipla linear. Para a determinação do melhor ajustamento, adotou-se o critério do máximo coeficiente de determinação múltipla. São apresentados os parâmetros obtidos para cada local, suas características geográficas (longitude, latitude e altitude), período de observação (em anos) e os coeficientes de determinação múltipla.

Termos para indexação: climatologia, engenharia, hidrologia, intensidade da chuva.

FUNDAMENTAL CHARACTERISTICS OF RAINFALL IN BRAZIL

ABSTRACT - The purpose of the present study is to calculate the averages maximum intensities of rainfall by means of determination of parameters of mathematical equation which relates the fundamental characteristics: intensity, (in mm/hour) duration (in minutes) and return period (in years). To generate basic information to engineering and hydrological studies is the aim, mainly for soil conservation projects. Through the adjustment of mathematical equations using linear regression, the rainfall characteristics of eighty meteorological stations throughout the country were calculated. To determine the best adjustment, the maximum coefficient of multiple determination was used. The parameters for each site, its geographic characteristics (latitude and longitude), as well as the period of observation and the coefficient of multiple determination are presented.

INTRODUÇÃO

O estudo de características fundamentais da chuva (intensidade, duração e tempo de retorno), para as condições climáticas do Brasil, com base nos dados analisados por Pfafstetter (1957), foi iniciado por Denardin et al. (1980) para o Estado do Rio Grande do Sul.

A importância do estudo da precipitação pluviométrica em projetos que envolvem determinadas práticas conservacionistas, aliada à elevada correlação obtida entre os dados de campo e os valores gerados pelas equações ajustadas por Denardin et al. (1980), para as condições climáticas do Rio Grande do Sul, justifica a continuidade deste estudo para outras regiões do País.

O trabalho apresenta o estudo das características fundamentais da chuva através do ajustamento

de equações matemáticas que as relacionam, abrangendo oitenta estações climatológicas distribuídas por todo o País.

Seu objetivo principal é possibilitar o cálculo da intensidade máxima média das chuvas, mais representativa para cada região, com a finalidade de fornecer subsídios para projetos específicos de engenharia, hidrologia e, principalmente, para projetos conservacionistas.

MATERIAL E MÉTODOS

O método empregado para o relacionamento das características fundamentais da chuva, intensidade, duração e tempo de retorno para as diversas estações climatológicas estudadas, foi o descrito por Denardin et al. (1980).

A partir da representação gráfica das alturas pluviométricas para diversos intervalos de duração, em função dos seus tempos de retorno publicadas por Pfafstetter (1957), procurou-se ajustar uma equação que representasse matematicamente estas curvas. Schwab et al. (1966) e Villela & Mattos (1975) indicam que a equação mais utilizada para expressar a relação intensidade-duração-tempo de retorno é:

$$I = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

¹ Aceito para publicação em 7 de maio de 1982.

² Eng^o Agr^o, M.Sc., Centro Nacional de Pesquisa de Trigo CNPT-EMBRAPA, Caixa Postal 569, CEP 99100 Passo Fundo, RS.

³ Eng^o Agr^o, M.Sc., Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS) - EMBRAPA, Jardim Botânico, 1024, CEP 22460 - Rio de Janeiro, RJ.

onde:

- I é a intensidade máxima média da chuva (mm/h)
 T é o tempo de retorno (anos)
 t é o tempo de duração da chuva (min.)
 a, b, c e d são coeficientes de ajustamento que variam de local para local.

Esta equação foi ajustada para cada localidade utilizando-se o método de regressão múltipla linear com o auxílio do microcomputador Sharp (Compet PC 2600).

Pela linearização da equação (1), operação necessária para o emprego da regressão múltipla linear, obteve-se a seguinte equação:

$$\text{Log I} = \log a + b \log T - d \log (t + c) \quad (2)$$

Esta nova equação (2) apresenta uma variável dependente (I), duas variáveis independentes (T e t) e quatro coeficientes de ajustamento (a, b, c e d). O tipo de associação da variável independente t ao coeficiente c, resultante de linearização do modelo, não permite que esta variável seja estimada. Por este motivo, atribuíram-se valores arbitrários ao coeficiente c e, conseqüentemente, estimaram-se os valores de a, b e d até a obtenção da melhor equação. Para a determinação da melhor equação adotou-se o critério do máximo coeficiente de determinação múltipla (R^2) (Draper & Smith 1966).

Dos gráficos publicados por Pfafstetter (1957) utilizaram-se os dados de máxima precipitação média, em mm, nos intervalos de duração de 5, 15, 30, 60, 120, 240, 840

e 1.440 minutos para os tempos de retorno de dois, cinco, dez e quinze anos.

Para algumas estações climatológicas estudadas, o período de observações permitiu utilizar valores de máxima precipitação pluviométrica média para o tempo de retorno de vinte anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características geográficas (latitude, longitude e altitude), o período de observações considerado (anos), os coeficientes de determinação múltipla (R^2) e as equações matemáticas ajustadas para expressar o relacionamento das características fundamentais da chuva (intensidade, duração e tempo de retorno) para as oitenta localidades estudadas, são apresentados na Tabela 1. Estas equações mostram elevada correlação com os dados de campo, como se percebe através dos altos coeficientes de determinação múltipla (R^2).

Os coeficientes a, b, c e d determinados para as diversas equações, apresentados na Tabela 1, evidenciam uma grande variabilidade nos valores de intensidade de chuva (1) de uma localidade para outra.

TABELA 1. Relação das localidades estudadas, com suas características geográficas, anos de observações, equações ajustadas e coeficientes de determinação múltipla.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R^2
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
1 Alegrete, RS	29°46'	55°47'	121	16,96	$I = \frac{777,44 \cdot T^{0,13}}{(t + 3,5)^{0,67}}$	0,9954
2 Alto Itatiaia, RJ	22°25'	44°50'	2.199	24,83	$I = \frac{893,45 \cdot T^{0,23}}{(t + 7)^{0,72}}$	0,9977
3 Alto Tapajós, PA	7°20'	57°30'	140	21,00	$I = \frac{1.562,35 \cdot T^{0,20}}{(t + 11)^{0,82}}$	0,9930
4 Avaré, SP	23°06'	48°55'	794	9,97	$I = \frac{1.964,22 \cdot T^{0,25}}{(t + 21)^{0,91}}$	0,9958
5 Bagé, RS	31°20'	54°05'	197	17,58	$I = \frac{604,90 \cdot T^{0,21}}{(t + 3,25)^{0,72}}$	0,9965

Tabela 1. Continuação.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R ²
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
6 Bangú, RJ	22°52'	43°27'	40	20,52	$I = \frac{2.396,68.T^{0,22}}{(t+24)^{0,90}}$	0,9958
7 Barbacena, MG	21°15'	43°46'	1.170	12,69	$I = \frac{1.282,08.T^{0,17}}{(t+7)^{0,84}}$	0,9984
8 Barra da Corda, MA	5°30'	45°16'	153	20,77	$I = \frac{1.530,67.T^{0,20}}{(t+17)^{0,83}}$	0,9924
9 Baurú, SP	22°19'	49°04'	591	9,35	$I = \frac{1.988,60.T^{0,27}}{(t+24)^{0,92}}$	0,9939
10 Belém, PA	1°27'	48°28'	5	19,84	$I = \frac{1.373,85.T^{0,15}}{(t+15)^{0,80}}$	0,9969
11 Belo Horizonte, MG	19°56'	43°56'	850	12,76	$I = \frac{1.729,16.T^{0,15}}{(t+9)^{0,89}}$	0,9977
12 Blumenau, SC	26°55'	49°03'	14	17,68	$I = \frac{6.649,15.T^{0,21}}{(t+43)^{1,10}}$	0,9945
13 Bonsucesso, MG	21°02'	44°47'	940	5,74	$I = \frac{1.105,32.T^{0,17}}{(t+6)^{0,83}}$	0,9978
14 Cabo Frio, RJ	22°52'	42°00'	2	32,09	$I = \frac{987,69.T^{0,26}}{(t+11)^{0,83}}$	0,9954
15 Campos, RJ	21°45'	41°20'	11	29,22	$I = \frac{1.467,40.T^{0,17}}{(t+10)^{0,84}}$	0,9988
16 Catalão, GO	18°11'	47°57'	857	22,55	$I = \frac{1.317,30.T^{0,16}}{(t+12)^{0,82}}$	0,9981
17 Caxias do Sul, RS	29°10'	51°12'	743	26,18	$I = \frac{702,71.T^{0,24}}{(t+8,85)^{0,74}}$	0,9980
18 Corumbá, MS	19°05'	57°39'	130	9,45	$I = \frac{1.220,98.T^{0,32}}{(t+13)^{0,80}}$	0,9980
19 Cruz Alta, RS	28°38'	53°37'	473	14,63	$I = \frac{863,25.T^{0,14}}{(t+3,6)^{0,70}}$	0,9977
20 Cuiabá, MT	15°33'	56°07'	179	12,79	$I = \frac{2.350,99.T^{0,20}}{(t+19)^{0,90}}$	0,9979
21 Curitiba, PR	25°25'	49°17'	915	33,89	$I = \frac{1.790,34.T^{0,20}}{(t+13)^{0,90}}$	0,9965

Tabela 1. Continuação.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R ²
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
22 Encruzilhada do Sul, RS	30°33'	52°31'	421	17,59	$I = \frac{431,09.T^{0,19}}{(t+3,7)^{0,64}}$	0,9955
23 Florianópolis, SC	27°35'	48°33'	2	29,03	$I = \frac{1.625,50.T^{0,23}}{(t+33)^{0,82}}$	0,9847
24 Formosa, GO	15°32'	47°20'	912	19,74	$I = \frac{1.276,25.T^{0,16}}{(t+10)^{0,82}}$	0,9972
25 Fortaleza, CE	3°46'	38°33'	20	21,15	$I = \frac{491,78.T^{0,21}}{(t+5)^{0,64}}$	0,9912
26 Goiânia, GO	16°41'	49°16'	730	17,30	$I = \frac{2.209,74.T^{0,21}}{(t+21)^{0,88}}$	0,9974
27 Iraí, RS	27°11'	53°17'	216	16,48	$I = \frac{598,65.T^{0,20}}{(t+4,4)^{0,67}}$	0,9936
28 Jacarezinho, PR	23°09'	50°01'	471	11,33	$I = \frac{1.667,47.T^{0,14}}{(t+19)^{0,86}}$	0,9943
29 Jardim Botânico, RJ	22°58'	43°14'	5	28,19	$I = \frac{693,06.T^{0,24}}{(t+11)^{0,68}}$	0,9955
30 João Pessoa, PB	7°06'	34°52'	7	23,30	$I = \frac{342,76.T^{0,21}}{(t+3)^{0,59}}$	0,9902
31 Km 47 Itaguaí, RJ	22°46'	43°41'	33	14,86	$I = \frac{3.117,56.T^{0,23}}{(t+32)^{0,95}}$	0,9953
32 Lins, SP	21°41'	49°45'	426	13,33	$I = \frac{1.084,98.T^{0,29}}{(t+17)^{0,86}}$	0,9911
33 Maceió, AL	9°40'	35°42'	45	26,96	$I = \frac{274,09.T^{0,28}}{(t+6)^{0,56}}$	0,9827
34 Manaus, AM	3°08'	60°01'	60	24,78	$I = \frac{1.387,98.T^{0,10}}{(t+12)^{0,78}}$	0,9938
35 Natal, RN	5°46'	35°12'	18	19,28	$I = \frac{586,66.T^{0,26}}{(t+15)^{0,68}}$	0,9914
36 Nazaré, PE	7°44'	35°15'	87	19,44	$I = \frac{421,19.T^{0,23}}{(t+4)^{0,68}}$	0,9967
37 Niterói, RJ	22°54'	43°07'	14	31,49	$I = \frac{962,78.T^{0,26}}{(t+11)^{0,77}}$	0,9967

Tabela 1. Continuação.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R ²
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
38 Nova Friburgo, RJ	22°17'	42°32'	857	26,50	$I = \frac{2.063,87.T^{0,18}}{(t+28)^{0,88}}$	0,9967
39 Olinda, PE	8°01'	34°51'	56	20,48	$I = \frac{666,64.T^{0,20}}{(t+10)^{0,66}}$	0,9965
40 Ouro Preto, MG	20°23'	43°30'	1.147	5,48	$I = \frac{787,68.T^{0,26}}{(t+6)^{0,77}}$	0,9907
41 Paracatu, MG	17°13'	46°52'	711	5,35	$I = \frac{731,04.T^{0,20}}{(t+6)^{0,68}}$	0,9907
42 Paranaguá, PR	25°31'	48°30'	4	23,55	$I = \frac{637,22.T^{0,20}}{(t+6)^{0,65}}$	0,9955
43 Parintins, AM	2°38'	56°44'	30	13,74	$I = \frac{5.775,73.T^{0,18}}{(t+30)^{1,02}}$	0,9956
44 Passa Quatro, MG	22°23'	44°58'	920	10,65	$I = \frac{530,52.T^{0,20}}{(t+3)^{0,72}}$	0,9974
45 Passo Fundo, RS	28°16'	52°25'	680	31,40	$I = \frac{670,74.T^{0,21}}{(t+7,9)^{0,74}}$	0,9972
46 Petrópolis, RJ	22°31'	43°11'	895	32,12	$I = \frac{2.187,74.T^{0,15}}{(t+29)^{0,85}}$	0,9964
47 Pinheiral, RJ	22°31'	44°00'	385	26,23	$I = \frac{2.313,30.T^{0,21}}{(t+16)^{0,93}}$	0,9974
48 Piracicaba, SP	22°43'	47°38'	574	10,63	$I = \frac{2.017,05.T^{0,16}}{(t+21)^{0,91}}$	0,9895
49 Ponta Grossa, PR	25°06'	50°10'	868	30,09	$I = \frac{1.421,85.T^{0,19}}{(t+17)^{0,86}}$	0,9942
50 Porto Alegre, RS	30°02'	51°13'	47	21,41	$I = \frac{627,54.T^{0,31}}{(t+7,9)^{0,74}}$	0,9886
51 Porto Velho, RO	8°46'	63°55'	95	11,68	$I = \frac{2.362,74.T^{0,12}}{(t+24)^{0,86}}$	0,9982
52 Quixeramobim, CE	5°12'	39°18'	212	29,97	$I = \frac{2.847,22.T^{0,30}}{(t+43)^{0,97}}$	0,9887
53 Resende, RJ	22°29'	44°28'	439	33,82	$I = \frac{2.393,05.T^{0,17}}{(t+18)^{0,90}}$	0,9990

Tabela 1. Continuação.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R ²
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
54 Rio Branco, AC	9°58'	67°49'	136	2,54	$I = \frac{1.868,00.T^{0,12}}{(t+21)^{0,86}}$	0,9991
55 Rio Grande, RS	32°02'	52°06'	5	19,94	$I = \frac{774,14.T^{0,23}}{(t+6,9)^{0,74}}$	0,9963
56 Salvador, BA	13°00'	38°31'	51	23,63	$I = \frac{1.288,50.T^{0,20}}{(t+22)^{0,81}}$	0,9970
57 Santa Maria, RS	29°41'	53°49'	142	16,23	$I = \frac{870,38.T^{0,24}}{(t+15,2)^{0,73}}$	0,9926
58 Santa Vitória do Palmar, RS	33°31'	53°22'	6	18,73	$I = \frac{1.036,50.T^{0,28}}{(t+22,8)^{0,77}}$	0,9807
59 Santos, SP	23°56'	46°19'	4	28,60	$I = \frac{748,69.T^{0,27}}{(t+10)^{0,66}}$	0,9932
60 São Carlos, SP	22°01'	47°57'	856	10,63	$I = \frac{2.081,48.T^{0,21}}{(t+23)^{0,88}}$	0,9969
61 São Francisco do Sul, SC	26°15'	48°38'	14	18,10	$I = \frac{1.234,41.T^{0,25}}{(t+22)^{0,79}}$	0,9976
62 São Gonçalo, PB	6°46'	38°14'	233	15,58	$I = \frac{3.077,38.T^{0,14}}{(t+30)^{0,93}}$	0,9954
63 São Luiz, MA	2°32'	44°17'	51	21,68	$I = \frac{1.131,57.T^{0,18}}{(t+24)^{0,74}}$	0,9847
64 São Luiz Gonzaga, RS	28°24'	54°58'	256	21,52	$I = \frac{1.038,51.T^{0,15}}{(t+6)^{0,76}}$	0,9974
65 São Simão, SP	21°29'	47°33'	617	26,24	$I = \frac{874,46.T^{0,20}}{(t+12)^{0,75}}$	0,9919
66 Sena Madureira, AC	9°04'	68°40'	135	7,74	$I = \frac{3.951,94.T^{0,16}}{(t+30)^{0,97}}$	0,9984
67 Sete Lagoas, MG	19°28'	44°15'	732	19,36	$I = \frac{1.590,06.T^{0,16}}{(t+15)^{0,86}}$	0,9952
68 Taperinha Santarém, PA	2°25'	54°20'	22	26,29	$I = \frac{1.712,51.T^{0,19}}{(t+15)^{0,84}}$	0,9970
69 Taubaté, SP	23°01'	45°34'	586	5,96	$I = \frac{763,99.T^{0,28}}{(t+8)^{0,74}}$	0,9956

Tabela 1. Continuação.

Localidades	Coordenadas			Nº de anos de observação	Equação	R ²
	Lat.	Long.	Alt. (m)			
70 Teófilo Otoni, MG	17°51'	41°31'	356	6,81	$I = \frac{1.074,77.T^{0,17}}{(t+13)^{0,81}}$	0,9977
71 Teresina, PI	5°05'	42°49'	79	22,97	$I = \frac{3.977,07.T^{0,20}}{(t+28)^{0,96}}$	0,9978
72 Teresópolis, RJ	22°27'	42°55'	874	32,91	$I = \frac{934,49.T^{0,25}}{(t+17)^{0,76}}$	0,9936
73 Turiaçu, MA	1°43'	45°24'	44	33,06	$I = \frac{1.185,74.T^{0,19}}{(t+13)^{0,79}}$	0,9860
74 Uaupés, AM	0°08'	67°05'	90	17,56	$I = \frac{2.235,25.T^{0,15}}{(t+19)^{0,85}}$	0,9979
75 Ubatuba, SP	25°26'	45°04'	80	7,57	$I = \frac{412,00.T^{0,23}}{(t+10)^{0,50}}$	0,9850
76 Uruguaiana, RS	29°45'	57°05'	56	17,95	$I = \frac{739,67.T^{0,16}}{(t+8)^{0,69}}$	0,9943
77 Vassouras, RJ	22°24'	43°39'	437	26,25	$I = \frac{1.366,08.T^{0,20}}{(t+11)^{0,85}}$	0,9989
78 Viamão, RS	30°05'	50°47'	52	15,10	$I = \frac{505,02.T^{0,19}}{(t+5,3)^{0,71}}$	0,9922
79 Vitória, ES	20°19'	40°20'	31	25,00	$I = \frac{1.082,42.T^{0,19}}{(t+14)^{0,78}}$	0,9968
80 Volta Redonda, RJ	22°29'	44°05'	418	12,88	$I = \frac{1.707,29.T^{0,15}}{(t+12)^{0,84}}$	0,9953

CONCLUSÕES

Considerando-se a desuniforme distribuição geográfica das estações estudadas (Figura 1) e a variabilidade desses coeficientes, conclui-se:

1. É inviável o uso de uma única equação generalizada para todo o País. Mesmo para o Rio Grande do Sul que apresenta uma mais uniforme distribuição geográfica das localidades estudadas, não

foi possível a Denardin et al. (1980) generalizar uma única equação para todo o estado.

2. O estudo das características fundamentais da chuva deve ser incrementado, envolvendo um maior número e uma distribuição geográfica mais uniforme das estações climatológicas, objetivando obter o raio de abrangência de cada equação ajustada.



FIG. 1. Distribuição geográfica das estações estudadas.

REFERÊNCIAS

- DENARDIN, J.E.; FREITAS, P.L. de; WUNSCH, W.A. & WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil. I. Rio Grande do Sul. *Pesq. agropec. bras.*, 15(4):419-21, 1980.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York, John Wiley & Sons. 1966. 407p.
- PFALSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil*. s.l., 1957. 419p.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. *Soil and water conservation engineering*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1966. 683p.
- VILLELA, S. & MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.