

COLETÂNEA DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO

Artur Paiva Coutinho^{1} & Louise Lopes Lôbo Leite² & Larissa Virginia Ribas³ & Antonio Celso Dantas Antonino⁴ & Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral⁵ & Suzana Maria Gico Lima Montenegro⁶*

Resumo – A importância das equações de intensidade, duração e frequência é evidente na concepção de projetos hidráulicos na drenagem urbana, agrícola e de rodovias. Além disso, a determinação de hidrogramas de projetos normalmente necessita da determinação de hietogramas de projeto associado a um tempo de retorno e a uma duração específica. No entanto, as informações sobre as relações i-d-f ainda não existem para muitas cidades do país, e, nos casos em que existem, as informações encontram-se dispersas por muitas vezes terem sido determinadas em diferentes épocas e por diferentes metodologias, dificultando a possível utilização na concepção dos mais variados projetos em engenharia de recursos hídricos. Dessa forma, objetivando homogeneizar a informação, esse trabalho realiza uma coletânea das equações de chuvas intensas para o estado de Pernambuco, mostrando as equações para diversas regiões do estado.

Palavras-Chave – Chuvas intensas, Recife, drenagem.

COLLECTANEA OF INTENSE RAINFALL EQUATIONS FOR PERNAMBUCO STATE

Abstract – The importance of the equations of intensity, duration and frequency is evident in the design of hydraulic projects in urban drainage, agricultural and highways drainage. Furthermore, the determination of hydrographs typically requires the determination of hietographs associated with a project timeline and a specific duration. However, information about the idf relationships do not exist for many cities in the country and where they exist, the information is scattered because in most of the cases they have been determined at different times and by different methodologies, what interferes in the utilization for various projects design in water resources engineering. Thus, this paper performs a collection of equations of high intensity rainfall for the state of Pernambuco, showing the equations for different regions of the state in order to homogenize the information, contributing to the technical scientific area.

Keywords – Rainfall data, Recife, drainage.

-
- 1)Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: arthur.coutinho@hotmail.com
 - 2)Mestranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: louselobo@yahoo.com.br
 - 3) Graduanda em Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: larissa.vribas@hotmail.com
 - 4)Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: acda@ufpe.br
 - 5)Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: jcabral@ufpe.br
 - 6) Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: suzanam@ufpe.br

INTRODUÇÃO

O Brasil presencia a execução de uma série de obras de infraestrutura visando os eventos da Copa do Mundo de 2014. Consoante com esses eventos, o estado de Pernambuco, assim como outros estados do Nordeste possui uma série de obras sendo executadas, sendo as principais, os eixos da Transposição do Rio São Francisco, a construção da Ferrovia Transnordestina, e demais obras relacionadas ao Programa de Aceleração do Crescimento – PAC do Governo Federal. Assim, uma série de projetos hidráulicos e hidrológicos está em execução e demandam informações básicas, sendo o conhecimento da precipitação de projeto uma das informações essenciais.

Não são poucos os estudos existentes no estado de Pernambuco referente a chuvas intensas. A cidade do Recife, por exemplo, possui uma série de equações determinadas através da metodologia clássica com dados pluviográficos (Encimbra (1978), FIDEM (1980), Ramos e Azevedo (2010)) e duas equações determinadas a partir de uma série histórica de dados pluviométricos utilizando a metodologia de Bell (1969) e o método das relações entre durações (Coutinho et al (2010)).

Além desses estudos para Recife, o trabalho de Pfasftetter (1957) determinou relações i-d-f para várias cidades brasileiras e contemplou duas cidades de Pernambuco – Olinda e Nazaré da Mata. Apesar da data de publicação, poucas atualizações foram feitas para as cidades determinadas por Pfasftetter, sendo essas relações à única informação ainda utilizada por projetistas que muitas vezes extrapolam essas equações admitindo-as válidas para regiões próximas às cidades que Pfasftetter determinou. Estudos como o de Festi (2007) realizaram uma coletânea de equações idf para o Brasil, mas não referenciou equações para cidades pernambucanas. O objetivo deste trabalho é realizar uma coletânea das equações de intensidade, duração e frequência existentes até o ano de 2012 para o estado de Pernambuco, facilitando assim a utilização das mesmas para os projetos de engenharia de recursos hídricos concebidos no estado.

METODOLOGIA

Pfasftetter (1957) estabeleceu curvas i-d-f para 98 postos localizados em diferentes regiões do Brasil. O autor ajustou para cada posto a seguinte equação empírica:

$$P = R \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (1)$$

Na qual, P = a precipitação máxima em mm, t = duração da precipitação em horas, a, b e c constantes para cada posto e R = um fator de probabilidade, definido como:

$$R = Tr^{(\alpha + \beta/Tr^\gamma)} \quad (2)$$

Sendo, Tr = tempo de retorno em anos, α e β valores que dependem da duração da precipitação e γ uma constante (adotada para todos os postos igual a 0,25).

O método da desagregação de chuvas desenvolvido pelo DAEE/CETESB (1980) adota o fator médio de 1,14 para a transformação de chuva máxima de 1 dia, em chuva de 24 h; para os demais tempos de duração de chuvas, utilizam-se os coeficientes apresentados em tabelas facilmente encontradas em publicações como Tucci(2004). No entanto, Silveira(2000) sintetiza e facilita o uso dessas relações através da equação 3 .

$$C(24h/d) = e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln(d)}{7,3}\right)} \quad (3)$$

O método de Bell (1969) é indicado especificamente para regiões onde as chuvas do tipo convectiva são predominantes, é válido para tempos de retorno variando de 2 a 100 anos e para durações de 5 a 120 minutos. A equação 4 , apresentada por Righetto (1998) foi ajustada adaptando o método para dados de postos brasileiros.

$$h(d_c; T) \approx (0,31 \ln T + 0,7) \cdot (0,38 \cdot d_c^{0,31} - 0,39) \cdot h(60; 2) \quad (4)$$

O método só se aplica com a estimativa de h(60; 2), recomenda-se a equação (5) :

$$h(60; 2) = K \cdot h_{dia}(2) \quad (5)$$

Sendo $K = 0,510$ e $h_{dia}(2)$ a altura pluviométrica máxima diária anual correspondente ao período de retorno, $T = 2$ anos.

Tanto o método de Bell quanto o método das relações entre durações são metodologias alternativas que podem ser utilizadas quando não se dispões de dados pluviográficos e se dispõe de boas séries de dados pluviométricos o que é o caso mais comum. Mesmo nessas metodologias, as relações idf finais são ajustadas à forma tradicional representada pelo modelo a seguir.

$$i(mm/h) = \frac{a \cdot T^b}{(t+c)^d} \quad (6)$$

Onde a,b,c e d são constantes de ajustes que podem ser determinadas pelo método da CETESB (1979) ou por regressão linear e não lineares (Silva et al (2012)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade do Recife dispõe de 2 equações de chuva elaboradas pelas consultoras EMCIBRA, contratada pela Prefeitura do Recife no final da década de 1970, e Acqua-Plan, contratada pela FIDEM em 1980; onde foram tomados com base os dados históricos entre 1926 e 1977 observados nos posto de Olinda e do Curado. Ressalta-se que apenas a da EMCIBRA (7) foi obtida especificamente para a cidade do Recife; já a elaborada pela Acqua-Plan, refere-se à região metropolitana do Recife- RMR. Neste estudo a consultora estabeleceu duas equações (8 e 9).

Equação da chuva elaborada pela Emcibra(1978) para a cidade do Recife :

$$i = \frac{335,47 \cdot T^{0,218}}{(t+4)^{0,539}} \quad (7)$$

Sendo: T o tempo de retorno em anos e t a duração da precipitação em minutos.

Equação da chuva elaborada pela Acqua-Plan(1980) para a RMR. Adota-se o valor máximo entre as expressões (8) e (9).

$$i_1 = \frac{456,768 \cdot (T-1,5)^{0,117} \cdot (1-4,54 \cdot 10^{-21} \cdot t^8)}{(t+6)^{0,5811}} \quad (8)$$

$$i_2 = \frac{72,153 \cdot (T-1,75)^{0,173}}{(t+1)^{0,74926}} \quad (9)$$

Uma atualização da equação idf para a cidade do Recife foi realizada por Ramos e Azevedo (2010) (equação 10), a partir de uma série de 40 anos (de 1968 a 2007) para o posto pluviográfico situado no Aeroporto Internacional dos Guararapes.

$$i = \frac{1423,97 T^{0,1124}}{(t+21)^{0,7721}} \quad (10)$$

Nesta expressão, T é o período de retorno em anos, t a duração da chuva em minutos, e i a intensidade de precipitação em mm/h.

As equações 11, e 12 detalham as relações determinadas para Olinda e Nazaré da Mata por Pfasftetter (1957).

Olinda

$$P = Tr^{(\alpha + \beta/Tr^{0,25})} \cdot [0,5 \cdot t + 35 \cdot \log(1 + 10 \cdot t)] \quad (11)$$

Sendo β um parâmetro atribuído conforme a duração t: Para $t=5$ mim, $\beta=0,04$; para $t>5$ min, $\beta=0,2$

Nazaré da Mata

$$P = Tr^{(\alpha + \beta/Tr^{0,25})} \cdot [0,4 \cdot t + 20 \cdot \log(1 + 20 \cdot t)] \quad (12)$$

Sendo β um parâmetro atribuído conforme a duração t: Para $t=5$ mim, $\beta = -0,04$; para $t= 15$ min, $\beta=0,04$, para $t=30$ min $\beta=0,08$ e para t de 1 hora a 6 dias $\beta=0,08$.

Em resumo, nos modelo de Pfasftetter (1957), o parâmetro β é uma característica ou função de cada localidade e é também função do tempo. O parâmetro α é função apenas do tempo conforme Tabela 1.

Tabela 1- Valores do parâmetro α . Pfasftetter (1957)

| Duração | 5min | 15min | 30min | 1h | 2h | 4h | 14h | 24h | 48h |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| α | 0,108 | 0,122 | 0,138 | 0,156 | 0,166 | 0,174 | 0,176 | 0,170 | 0,166 |

Nas expressões para Olinda e Nazaré da Mata Tr é o período de retorno em anos, P é altura de precipitação em mm para uma duração t , t é a duração da chuva em horas.

Equações IDF obtidas através de dados pluviográficos (i - mm/h, Tr - anos e t em min)

Araripina

$$i = \frac{387,23 \times Tr^{0,143}}{(t + 0,725)^{0,609}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (13)$$

Belo Jardim

$$i = \frac{2178,87 \times Tr^{0,123}}{(t + 22,834)^{0,875}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (14)$$

Bezerros

$$i = \frac{4083,64 \times Tr^{0,13}}{(t + 31,836)^{0,948}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (15)$$

Custódia

$$i = \frac{3112,238 \times Tr^{0,122}}{(t + 26,796)^{0,935}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (16)$$

Fernando de Noronha

$$i = \frac{429,430 \times Tr^{0,092}}{(t + 4,986)^{0,565}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (17)$$

Salgueiro

$$i = \frac{1719,692 \times Tr^{0,11}}{(t + 16,676)^{0,795}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (18)$$

Serra Talhada

$$i = \frac{764,167 \times Tr^{0,76}}{(t + 12,879)^{0,660}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (19)$$

Serrolândia

$$i = \frac{947,444 \times Tr^{0,116}}{(t + 11,767)^{0,749}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (20)$$

Tabira

$$i = \frac{599,973 \times Tr^{0,103}}{(t + 7,628)^{0,632}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (21)$$

Triunfo

$$i = \frac{559,365 \times Tr^{0,165}}{(t + 5,571)^{0,624}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (22)$$

Vertentes

$$i = \frac{2282,3 \times Tr^{0,17}}{(t + 17,913)^{0,909}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (23)$$

Equações idf obtidas através de dados pluviométricos (i - mm/h, Tr - anos e t em min)

Araripina

$$i = \frac{893,442 \times Tr^{0,118}}{(t + 10,523)^{0,753}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (24)$$

Belo Jardim

$$i = \frac{981,999 \times Tr^{0,145}}{(t + 10,766)^{0,757}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (25)$$

Bezerros

$$i = \frac{829,251 \times Tr^{0,189}}{(t + 10,587)^{0,754}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (26)$$

Custódia

$$i = \frac{840,677 \times Tr^{0,183}}{(t + 10,531)^{0,753}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (27)$$

Salgueiro

$$i = \frac{880,321 \times Tr^{0,215}}{(t + 10,538)^{0,753}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (28)$$

Serra Talhada

$$i = \frac{998,140 \times Tr^{0,136}}{(t + 12,525)^{0,753}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (29)$$

Serrolândia

$$i = \frac{936,775 \times Tr^{0,144}}{(t + 10,786)^{0,757}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (30)$$

Tabira

$$i = \frac{903,074 \times Tr^{0,192}}{(t + 10,581)^{0,754}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (31)$$

Triunfo

$$i = \frac{1030,495 \times Tr^{0,176}}{(t + 10,524)^{0,753}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (32)$$

Vertentes

$$i = \frac{925,089 \times Tr^{0,143}}{(t + 10,543)^{0,754}} \quad (\text{Silva et al., 2012}) \quad (33)$$

Equações obtidas através do Método da relação entre durações (i - mm/h, Tr - anos e t em min)

Vitória

$$i = \frac{447,3995 \times Tr^{0,2426}}{(t+3,797474)^{0,7483}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (34)$$

Caruaru

$$i = \frac{445,0122 \times Tr^{0,2586}}{(t+3,797447)^{0,7483}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (35)$$

Petrolina

$$i = \frac{475,18 \times Tr^{0,2023}}{(t+4,141275)^{0,7527}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (36)$$

Pesqueira

$$i = \frac{497,4 \times Tr^{0,2398}}{(t+4,141274)^{0,7527}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (37)$$

Araripina

$$i = \frac{550,34 \times Tr^{0,1956}}{(t+4,139872)^{0,752683}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (38)$$

Recife

$$i = \frac{662,83 \times Tr^{0,2522}}{(t+3,797507)^{0,7488}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (39)$$

Equações obtidas através do Método de Bell (1969) (i - mm/h, Tr - anos e t em min)

Vitória

$$i = \frac{244,7464 \times Tr^{0,2129}}{(t+2,830539)^{0,558033}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (40)$$

Caruaru

$$i = \frac{228,02 \times Tr^{0,2129}}{(t+2,830777)^{0,558067}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (41)$$

Petrolina

$$i = \frac{228,87 \times Tr^{0,2079}}{(t+3,927195)^{0,579933}} \quad (\text{Coutinho et al.,2010}) \quad (42)$$

Pesqueira

$$i = \frac{324,77 \times Tr^{0,2131}}{(t+4,099618)^{0,582017}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (43)$$

Araripina

$$i = \frac{332,6376 \times Tr^{0,2129}}{(t+4,095983)^{0,581917}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (44)$$

Recife

$$i = \frac{362,7199 \times Tr^{0,2129}}{(t+4,12182)^{0,5824}} \quad (\text{Coutinho et al., 2010}) \quad (45)$$

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A coletânea dessas equações permitiu homogeneizar as informações consolidadas e existentes para as diversas regiões do estado de Pernambuco. Espera-se uma contribuição ao meio técnico e científico através da disseminação não apenas da informação da equação, mas também dos métodos que foram empregados permitindo ao usuário a escolha da equação utilizar em função de questões relacionadas à segurança, conhecimento da região e maior confiabilidade de cada método.

Para a utilização das equações determinadas através de dados pluviométricos recomenda-se respeitar os intervalos de duração e tempos de retorno para os quais elas foram determinadas. As equações idf (34) a (45) são válidas para tempos de retorno de 2 a 100 anos e durações de 5 a 120 minutos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco - FACEPE, à CAPES- COFECUB (projeto nº 677/10) pela concessão de Bolsas de Doutorado ao projeto MAPLU 2 e ao CNPq por bolsas PQ dos quarto, quinto e sexto autores.

REFERÊNCIAS

- BELL, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division –ASCE*, v.95, p311-327, 95: 311-327
- CETESB (1979). Drenagem Urbana: Manual de Projeto. São Paulo. 476p.
- COUTINHO, A. P; SILVA, F.B; SILVA, R.O; ANTONINO, A.C.D; MONTENEGRO, S.M.G.L. (2010). Determinação de Equações de Chuvas Intensas para Municípios das Mesorregiões do Estado de Pernambuco Com Dados Pluviométricos. In *Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza, 2010, 14 p.
- DAEE-CETESB (1980). *Drenagem urbana: Manual de projeto*. São Paulo, 466p.
- EMCIBRA S.A. ENGENHARIA DE CONSULTORIA (1978). *Plano Diretor de Drenagem Urbana para a Cidade do Recife*, disponível impresso na EMLURB, Recife.
- FESTI, A.P. Coletânea das Equações de Chuvas do Brasil. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - São Paulo -, 18 p.2007
- FIDEM (1980). *Plano Diretor de Macrodrenagem da Região Metropolitana do Recife*, disponível na EMLURB, Recife.
- PFASFTETTER, O. (1957). *Chuvas Intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS. 419p.

- RAMOS, M. A.; AZEVEDO, J. R. G. (2010). Nova equação de chuvas intensas para a cidade de Recife-Pernambuco. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza/Ceará, xx p.
- RIGHETTO, A. M. (1998). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. EESC / USP, São Carlos- SP, 840 p.
- SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, F.B.;FILHO,P.F.A (2012). Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. ,Porto Alegre, v17,n3,p.135-147,jul/set 2012.
- SILVEIRA, A. L.L; (2000). Equação dos Coeficientes de Desagregação de Chuva . In *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*,Porto Alegre, v5,n4,p.143-147,out/dez 2000
- TUCCI, C. E. M. (2004). *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 943 p.