

# ESTUDO COMPARATIVO DE EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA CIDADE DE FORTALEZA-CE, BRASIL

Vicente de Sousa Lima Neto<sup>1</sup>, Tatiane Lima Batista, Jonas Daniel Nunes, Paulo Roberto Lacerda Tavares

Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Brasil; Mestranda em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Brasil; Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Brasil; Professor Adjunto IV da Universidade Federal do Cariri e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, Brasil.

E-mails: vicenteufca@gmail.com; tatianelima.eng@gmail.com; daniel.ec.ufca@gmail.com; paulo.tavares@ufca.edu.br

## Resumo

As estruturas hidráulicas são dimensionadas a partir da vazão máxima de projeto. Uma das metodologias para a determinação dessa vazão é o conhecimento das chuvas intensas, caracterizadas pela Intensidade, Duração e Frequência. Nesse trabalho, utilizando dados pluviométricos diários e aplicando ferramentas computacionais, determinou-se a equação IDF para a cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. Em acréscimo, foi realizado um estudo comparativo entre a equação IDF gerada pelo *software* com uma equação IDF gerada por dados pluviográficos da referida cidade.

## Introdução

Os projetos de obras hidráulicas são dimensionados a partir da vazão máxima de projeto (Teixeira et al., 2011; Garcia et al., 2011). Quando não se dispõe de dados históricos de vazão ou se têm apenas em pequenas quantidades, uma das metodologias mais adotadas para a determinação da vazão de projeto é por meio do estudo das chuvas intensas (Garcia et al., 2011; Back et al., 2012). Para a caracterização das chuvas intensas, deve-se conhecer a intensidade, duração e período de recorrência, relação esta conhecida como curvas Intensidade-Duração-Frequência (Damé et al., 2008).

A partir de modelos matemáticos aplicados em dados de precipitação (Damé et al., 2008; Santos et al., 2009) pode-se determinar as relações intensidade-duração-frequência de chuva e realizar um estudo comparativo das metodologias com a obtenção de um menor erro possível para que a estrutura não venha a ser prejudicada e que a equação de chuvas intensas seja a mais real plausível (Mello et al., 2001).

Os dados de precipitação podem ser obtidos por meio de pluviógrafos ou pluviômetros (Damé et al., 2008). No Brasil há uma certa disponibilidade de dados de chuva diários, enquanto que dados de chuva de menor duração não o são, devido a pequena presença de equipamentos medidores (Mello et al., 2001; Back et al., 2012).

A determinação das equações IDF por meio de dados pluviográficos apresenta certa dificuldade devido à baixa espacialização de postos de coleta e as pequenas séries históricas de dados, além disso necessita de um alto trabalho de tabulação, análise e interpretação dos pluviogramas (Oliveira et al., 2005; Souza et al., 2012), por isso se faz necessário a adoção de metodologias para o desenvolvimento das curvas IDF a partir de dados pluviométricos (Oliveira et al., 2005; Damé et al., 2008).

Silva, Palácio Junior e Campos (2013) realizaram um estudo com registros pluviográficos (1970-1999) do pluviógrafo da estação climatológica da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici na localidade de Fortaleza – Ceará, aplicando o método de Gumbel-Chow, ajustando a uma distribuição de probabilidade e adotando a metodologia descrita por Wilken (1978), obtiveram uma equação IDF, sendo comparada com equações já existentes, e concluíram que não há uma diferença entre as intensidades de precipitações obtidas pelas equações

para cada período de retorno a partir da duração de 10 minutos.

O presente trabalho teve como objetivo a realização de um estudo comparativo entre a equação IDF da cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil, encontrada no trabalho de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) com a equação obtida por meio de uma ferramenta de Hidroinformática desenvolvida por Batista (2015).

## Material e métodos

A realização desse trabalho se deu a partir da coleta de dados pluviométricos extraídos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para a estimativa de equação intensidade-duração-frequência pelo *software* Gerador IDF desenvolvido por Batista (2015).

Foi feito a realização de um estudo comparativo entre a equação IDF gerada por meio de dados pluviográficos encontrada no trabalho de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) com a equação oriunda do *software* Gerador IDF para o município de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, Brasil.

O Gerador IDF é uma ferramenta de HidroInformática que é capaz de realizar o tratamento estatístico em séries históricas de precipitação pluviométrica, aplicar um método de desagregação de chuva e gerar a equação IDF. A manipulação dos dados foi feita por meio de uma entrada de arquivo no formato texto (\*.txt), disponibilizado na página da FUNCEME e com a escolha do posto pluviométrico com maior quantidade de anos de observação, correspondendo a 1988 a 2017.

O programa ajustou os dados de precipitação pluviométrica a modelos de distribuição de probabilidades: Gamma com dois e três parâmetros, Log-Normal com dois e três parâmetros e Gumbel. Tendo sido adotada a distribuição que melhor representasse ajuste dos dados, conforme avaliação por meio de testes estatísticos. Os testes realizados foram: Teste de Aderência do *Qui-Quadrado*; Teste de Aderência de *Lilliefors*; Tendência e Linearidade; Desvio Quadrático Médio (DQM); Desvio Quadrático Residual (DQR) e Desvio Percentual Médio Absoluto (DPMA).

Com a distribuição de probabilidade adotada, determinaram-se as precipitações de 1 dia relacionadas aos períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos. Pelo Método das Isozonas, proposto por Taborga Torrico (1974) foi possível, a partir de coeficientes de desagregação de chuva diária e interpolação logarítmica, determinar as precipitações com durações entre 6 e 240 min e por fim determinar a intensidade de chuva, em mm/h, dividindo a precipitação pela duração para cada período de retorno.

A equação IDF foi gerada pelo programa para a localidade de estudo por meio do método dos mínimos quadrados e metodologia descrita por Wilken (1978), encontrando-se assim os parâmetros locais da equação [1]:

$$I = \frac{a \cdot (T_R + S)^b}{(t + c)^n} \quad [1]$$

Em que:

$I$  é a intensidade da chuva, em mm/h;

$T_r$  é o tempo de retorno, em anos;

$t$  é a duração do evento, em min;

$a, b, c, n, S$  são parâmetros locais.

A partir do coeficiente de NASH, proposto por Nash & Sutcliffe (1970), foi possível avaliar a qualidade do ajuste dos parâmetros da equação IDF gerada, comparando-a com a equação obtida por Silva, Palácio Junior e Campos (2013). O coeficiente de NASH é obtido pela somatória dos erros quadráticos relacionada pela variância da série observada. Valores do coeficiente NASH maiores do que 0,75 são tidos como bons, entre 0,36 e 0,75 é considerado aceitável, e menores do que 0,36 o modelo é inaceitável (Silva et al., 2008). Abaixo, tem-se a equação matemática que o descreve:

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (I_0 - I_c)^2}{\sum_{i=1}^N (I_0 - \bar{I}_0)^2} \quad [2]$$

Em que:

$R$  é o coeficiente de NASH, adimensional;

$I_c$  é a intensidade, mm/h, gerada pela equação do modelo;

$I_0$  é a intensidade, mm/h, obtida pelo ajuste da distribuição, tida como real;

$\bar{I}_0$  é a média das intensidades, mm/h, obtida pelo ajuste da distribuição.

## Resultados e discussão

Os resultados dos testes estatísticos indicaram a distribuição Gamma com três parâmetros como a de melhor ajuste, tendo sido escolhida para o cálculo das precipitações de 1 dia.

Determinadas as precipitações de 1 dia, o software Gerador IDF obteve as precipitações para os períodos de retorno e durações analisadas e as correspondentes intensidades de chuva. A partir disso, usando a metodologia de Wilken (1978) e método dos mínimos quadrados, o programa determinou a equação IDF para a localidade de estudo. A seguir, tem-se a equação obtida:

$$I = \frac{1305,12 \cdot (T_R - 2,08)^{0,137}}{(t + 15,945)^{0,76}} \quad [3]$$

Com a equação IDF gerada, calcularam-se as intensidades para cada período de retorno e durações estabelecidas. A comparação entre as intensidades obtidas pelo Método das Isozonas e as obtidas através da equação IDF tiveram como resultado bom, com coeficiente de NASH igual a 0,983, representando um ótimo ajuste de dados do método utilizado.

A equação IDF obtida por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) através de dados de 30 anos de registros pluviográficos para a referida cidade é apresentada a seguir, com intensidade em mm/h, duração em minutos e período de retorno em anos:

$$I = \frac{2345,29 \cdot T_R^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}} \quad [4]$$

Considerando a equação de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) tida como a real, a comparação entre a equação [3] e [4] teve como coeficiente de NASH igual 0,962, que de acordo com Silva et al. (2008) indica boa correlação entre as duas equações, evidenciando que a equação IDF gerada pelos dados pluviométricos [3], utilizando o Método das Isozonas, produz resultados equivalentes aos obtidos pelo emprego da equação IDF gerada a partir de dados pluviográficos [4].

## Considerações finais

Pode-se concluir que o uso de metodologias alternativas para a determinação de equações IDF, a partir de dados pluviométricos de séries históricas de precipitação, implementadas em ferramentas computacionais é de grande valia para os projetos hidráulicos. Destaca-se a importância de comparações entre equações IDF, para que elas possam ser atualizadas e revisadas, buscando, obter resultados equivalentes, pelo emprego de dados com maior disponibilidade (dados pluviométricos), sobrepondo-se ao uso de dados escassos (dados pluviográficos).

## Referências bibliográficas

- Back, A. J.; Oliveira, L. R.; Henn, A.** (2012). "Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 16, No. 4, 2012, pp. 391-398.
- Batista, T. L.** (2015). *Desenvolvimento de uma ferramenta de Hidroinformática para cálculo de equações IDF com aplicação na Região Metropolitana de Fortaleza*. 2015. 60 f. Monografia, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, 2015.
- Damé, R. de C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S.** (2008). "Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas – RS". *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, Vol. 28, No. 2, Abril 2008., pp.245-255.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos: Produtos e serviços.** Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em 26 de Fevereiro de 2018.
- Garcia, S. S.; Amorim, R. S. S.; Couto, E. G.; Stopa, W. H.** (2011). "Determinação de equações intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do estado do Mato Grosso". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 15, No. 6, 2011, pp. 575-581.
- Mello, C. R.; Ferreira, D. F.; Silva, A. M.; Lima, J. M.** (2001). "Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas". *R. Bras. Ci. Solo*, 2001, Vol. 25, pp. 693-698.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V.** (1970). "River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles". *Journal of Hydrology, ELSEVIER*. Vol. 10, April 1970. pp. 282-290.
- Oliveira, L. F. C.; Cortés, F. C.; Wehr, T. R.; Borges, L. B.; Sarmiento, P. H. P.; Griebeler, N. P.** (2005). "Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal". *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Vol.35, 2005, pp. 13-18.
- Santos, G. G.; Figueiredo, C. C.; Oliveira, L. F. C.; Griebeler, N. P.** (2009). "Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol.13, (Suplemento), 2009, pp. 899-905.
- Silva, P. M. O.; Mello, C.R.; Silva, A. M. & Coelho, G.** (2008). "Modelagem da hidrografia de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande". *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Vol. 12, 2008, pp. 258-265.
- Silva, F. O. E. da; Palácio Júnior, F. F. R.; Campos, José Nilson Bezerra.** (2013). "Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC". *Revista Dae, São Paulo*, No. 192, Agosto 2013, pp. 48-59.
- Souza, R. O. de M; Scaramussa, P. H. M; Amarela, M. A. C. M. do; Neto, J. A. P; Pantoja, A. V; Sadeck, L. W. R.** (2012). "Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 16, No. 9, 2012, pp.999-1005.
- Teixeira, C. F. A.; Damé, R. de C. F.; Siqueira, G. do A.; Bacelar, L. C. S. D.** (2011). "Vazão máxima de projeto: Metodologia para dimensionamento de bueiros em áreas agrícolas". *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, No.17, 2011, pp. 49-56.
- Torricco, J. J. T.** Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro, Transcon, 1974.
- Wilken, P. S.** (1978). Engenharia de Drenagem Superficial. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), São Paulo. 478 p.